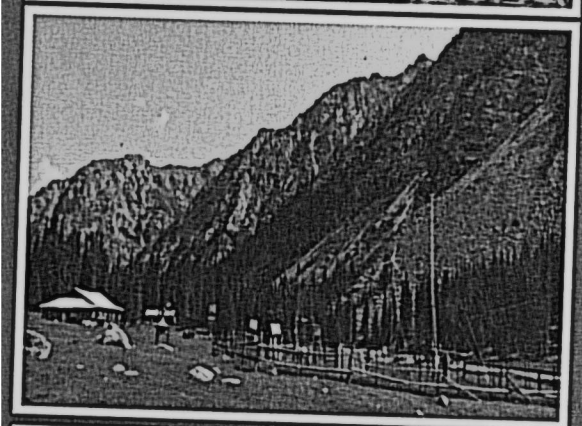
551.48
В 62

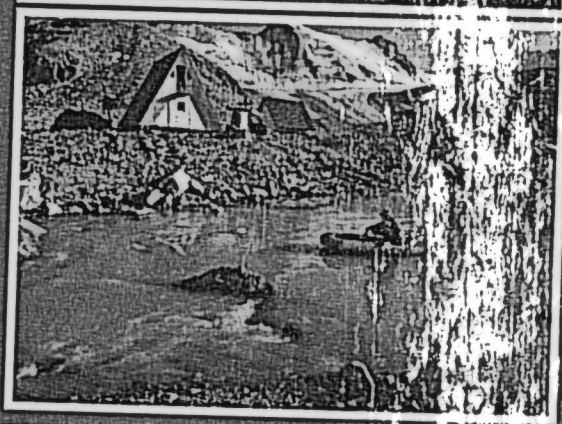
ВОДНЫЕ И ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ КЫРГЫЗСТАНА

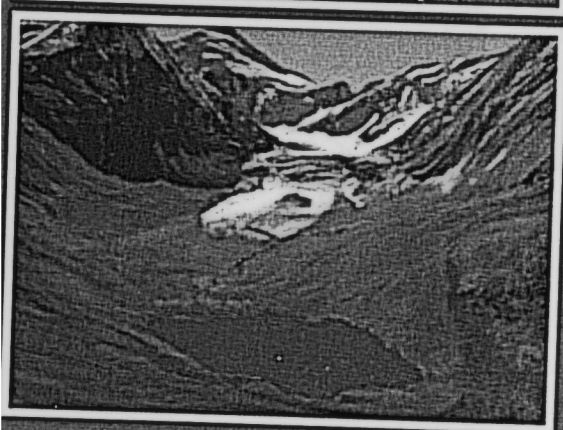
В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

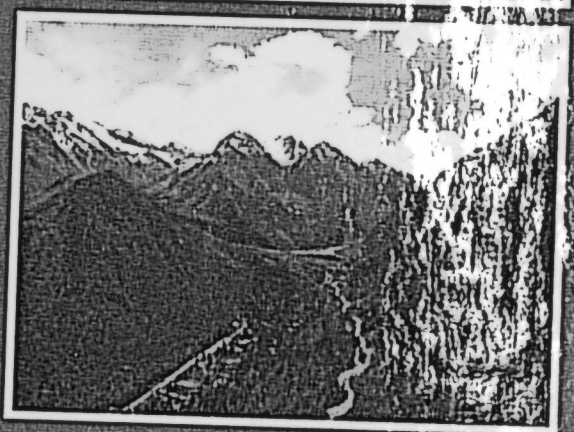












НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ И ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

ТЯНЬ-ШАНСКИЙ ВЫСОКОГОРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

НИЦ ЭКОЛОГИИ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ (г.БИШКЕК)

ВОДНЫЕ И ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ КЫРГЫЗСТАНА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Бишкек 2022

551.48
В 62

Посвящается 30 летию ИВПиГЭ НАН КР
и памяти академика Д. М. Маматканова

УДК 556
ББК 31.55
В 62

Рекомендовано к печати Учёным советом Института водных проблем и гидроэнергетики НАН КР

Рецензенты:
проф., член-корр., доктор технических наук, Кожобаев К.А.
проф., доктор географических наук, Эргешов А.А.
Ответственные редакторы: к.т.н., **В. В. Загинаев**; к.ф.-м.н., **Т.В. Тузова**

АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ:

Д. Т. Чонтоев, д.г.н.; **Д. М. Маматканов**, акад., д.т.н.; **Ш. Э. Усупаев**, д.г.-м.н.; **Р. Г. Литвак**, д.т.н.; **Е. И. Немальцева**, к.т.н.; **О. Давлеталиева**; **Н. В. Ершова**, к.г.н.; **О.М. Стрижанцева**, к.г.н.; **Л.В. Бажанова**; **А. К. Мамбетова**; **В. И. Липкин**, к.т.н.; **М.С. Абдулдаев**; **М.Е. Коккозов**; **С.А. Ерохин**, к.г.-м.н.; **Т.В. Тузова**, к.ф.-м.н.; **В.В. Загинаев**, к.т.н.; **Б.М. Жакеев**; **Э. С. Шаршеев**, к.т.н.; **А.У. Чымыров**, к.т.н.; **Г.К. Асанакунова**; **Б. У. Абылмейизова**, к.г.н.; **М.М. Дылдаев**, д.г.н., **Н. В. Кенжебаева**, к.б.н.; **Р.С. Кермалиев**, к.г.н.; **Э. Т. Токторалиев**, к.г.н.; **О. И. Элеманов**; **Р.А. Сатылканов**, к.т.н.; **В.И. Шатравин**, к.г-м.н, **К.Б. Осмонбаева**, к.б.н.; **Б.О. Эрменбаев**; **Д.Д. Саякбаев**.

В 62 Водные и гидроэнергетические ресурсы Кыргызстана в условиях изменения климата. – Б.: 2022. – 400 стр.

ISBN 978-9967-12-932-0

В коллективной монографии приведены разработанные научные основы мониторинга водных и гидроэнергетических ресурсов основных речных бассейнов Северного Кыргызстана с учётом изменения климата. Авторами уточнены оценки водных и гидроэнергетических ресурсов на репрезентативных бассейнах и регионах в современных климатических условиях. Водные и гидроэнергетические ресурсы Кыргызского Тянь-Шаня расположены как на «водонапорной башне» исключительно на территории Кыргызстана, а используются водные потоки для орошения аридных равнинных земель в – Казахстане, Узбекистане, Таджикистане и Китае. Рациональное и наукоемкое использование водно-энергетических ресурсов имеет большое значение для решения проблем развития экономики Кыргызстана и трансграничных стран Центральной Азии.

Монография рассчитана на научных работников гидрологов, гидрогеологов, гидроэнергетиков, гидротехников, геоэкологов, географов, инженер-геологов, представляет интерес для аспирантов, магистров наук и студентов профильных вузов и других специалистов исследующих сферу использования и охраны водных и гидроэнергетических ресурсов.

Данная монография издана при финансовой поддержке Научно-Исследовательского центра Экологии и Окружающей среды Центральной Азии (г.Бишкек).

664995

КИТЕПКАНА

ISBN 978-9967-12-932-0

УДК 556
ББК 31.55

© Авторский коллектив, 2022



Управление водными ресурсами это приоритетное стратегическое научное направление, обеспечивающее устойчивое экономическое развитие Кыргызстана

академик Д.М. Маматканов

ПРЕДИСЛОВИЕ

Институт водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук Кыргызской Республики является в стране единственным академическим подразделением, проводящим фундаментальные и прикладные научно-исследовательские работы по изучению региональных закономерностей формирования природных вод, оценки их режима, распределения, взаимосвязи, взаимодействия поверхностных и подземных вод.

Основателем ИВП и ГЭ НАН КР является выдающийся в странах СНГ, Центральной Азии и Кыргызстане крупный ученый в области гидроэнергетики, инженерной гидрологии, рационального использования, охраны и управления водными ресурсами, член Национальной комиссии по водной стратегии при Президенте КР, академик НАН КР и АН РТ, д.т.н., Дюшен Маматканович Маматканов.

Академик Д.М. Маматканов является инициатором и первопроходцем в решении сложных комплексных водно-энергетических проблем на территории Кыргызской Республики. Под его руководством с 1981 по 1992 годы впервые организована «Лаборатории методов долгосрочного прогнозирования и регулирования стока» в Институте автоматики АН Кыргызской Республики, на базе которой в 1992 г. был создан Институт водных проблем и гидроэнергетики НАН КР, директором которого был до 2018 г. В 2016 году академик Маматканов Дюшен Маматканович за выдающийся международный вклад Комитетом Сократа Оксфордского университета Объединенного Королевства Великобритании награжден орденом Сократа «Имя в науке» и внесен во Всемирный реестр ученых 21-го века, и орденом «За вклад в мировую науку».

Маматканова Д.М. – автор более 200 научных работ, в том числе 12 монографий. Под его руководством защищены 8 докторских и более 10 кандидатских диссертаций.

Д.М. Маматкановым и его учениками впервые в странах СНГ и Центральной Азии на примере Кыргызстана, была разработана теория ценообразования в водопользовании, где научно обосновано, что вода является экономической категорией, имеющей стоимость, поэтому в ней применим термин «товар». Разработан «пакет» методик по определению тарифов на воду, в качестве экономического механизма управления трансграничными водотоками на национальном и межгосударственном уровнях, основные положения стратегии межгосударственного вододеления и механизмы совместного использования водохозяйственных объектов межгосударственного значения.

В ИВП и ГЭ НАН КР ведутся исследования путей повышения эффективности работы каскада Нижне-Нарынских ГЭС и Токтогульского водохранилища, его эксплуатации в ирригационном режиме и разработана методика оценки ущербов, наносимых Кыргызстану. Также, разработано технико-экономическое обоснование строительства каскада ГЭС на р. Сары-Джаз.

В настоящее время в ИВП и ГЭ НАН КР продолжены подготовленные под научным руководством академика Д.М. Маматканова, комплексы исследований по разработке научных основ и практических рекомендаций по рациональному использованию, охране водных и гидроэнергетических ресурсов внутренних и трансграничных речных бассейнов, оптимизации режимов эксплуатации комплексных водохозяйственных систем.

Проводятся исследования в сфере ценообразования в водопользовании, осуществляется эколого-экономическое обоснование водохозяйственных мероприятий и масштабное использование гидроэнергетического потенциала по строительству ГЭС с целью получения экономической выгоды и обретения энергетического суверенитета и водно-энергетической самостоятельности КР. Ежегодно на основе наземных, дистанционных и аэровизуальных обследований, с профилирующими организациями осуществляется мониторинг прорывоопасности высокогорных озер.

На базе Тянь-Шанского высокогорного научного центра при Институте водных проблем и гидроэнергетики НАН КР проводятся ежегодно научные исследования по гляциологии, биогеографии, береговым процессам, экологии высокогорья.

В ИВП и ГЭ НАН КР смоделировано развитие процессов формирования водных ресурсов в перспективе в условиях климатических тенденций на потепление, создана система информационного обеспечения для управления водными и земельными ресурсами.

Президент НАН КР, академик, М.С. Джуматаев

ВВЕДЕНИЕ

Кыргызстан обладает значительными водными и гидроэнергетическими ресурсами и единственная страна в Центральной Азии, водные ресурсы которой полностью формируются на собственной территории. Стратегия использования трансграничных рек, методика ценообразования и тарифов на воду позволяют решать экологические и экономические проблемы.

Государственный суверенитет определяется факторами, среди которых продовольственная и энергетическая независимость занимают ведущее место. Для развития Кыргызстана особую актуальность приобретает ресурсная самостоятельность, особенно в топливно-энергетической отрасли, т.к. вода и энергетический потенциал рек, становится важнейшей частью топливно-энергетического баланса, заменяя дорогостоящие газ и уголь. Среди природных ресурсов гидроэнергетические - возобновляемые, неисчерпаемые, экологически чистые и самые дешёвые, которые в Кыргызстане используются недостаточно. Поэтому рациональное использование гидрологических энергетических ресурсов позволит стране преодолеть энергетический кризис.

Снижение эффективности использования водных ресурсов, явилось закономерным следствием социально-экономического кризиса, ослабления государственного контроля в ходе рыночных реформ, а также недостаточности мер по стимулированию внедрения водосберегающих технологий хозяйствующими субъектами и экономии воды населением.

В условиях рыночной экономики Кыргызстан, осуществляет весь комплекс работ по формированию, регулированию стока и водоподаче в сопредельные государства за счёт собственных бюджетных средств, поэтому их участие в переводе межгосударственных водных отношений на коммерческую основу требует установления тарифа на воду.

Разработанная в ИВП и ГЭ НАН КР методология расчёта различных видов тарифов на воду базируется на затратно-нормативном методе, предусматривающем покрытие затрат государства на содержание водохозяйственных сооружений и получение определённой прибыли для воспроизводства водного сектора. Водные ресурсы, относятся к разряду национальной безопасности и требуют обеспечения государственного политического внимания к поддержке исследований для достоверной и более точной оценки современного водоресурсного и гидроэнергетического потенциала с заданной обеспеченностью.

В свете реализации первостепенных задач по водным ресурсам возрастает значимость водных ресурсов во всех сферах экономики на фоне происходящих изменений климата, что побуждает к принятию действий по их рациональному и эффективному использованию; учитывая трансграничный статус большинства водотоков Кыргызстана. Важно развитие взаимовыгодных международных водных отношений на основе приверженности духу добрососедства и сотрудничества с сопредельными государствами. Следует признать необходимость консолидации усилий научных и водохозяйственных организаций по реализации разработанных экономических механизмов в практику организации межгосударственных водных отношений в целях защиты национальных интересов.

Интегрированное управление водными ресурсами трансграничных бассейнов должно базироваться на равноправном учёте интересов всех входящих в него стран. Решение вопросов и задач рационального использования водных и гидроэнергетических ресурсов обеспечивается исследованиями Института водных проблем и гидроэнергетики НАН КР.

Изменение климата оказывает огромное влияние на водные ресурсы и связанные с ними риски, в зоне их формирования. Деградация оледенения приводит к активному развитию высокогорных прорывоопасных озер, несущих угрозу возникновения катастрофических селевых потоков. Институт осуществляет изучение опасных экзогенных гидрогеологических процессов с целью своевременного информирования государственных органов о надвигающейся угрозе. Разработки института по мониторингу прорывоопасных озер, методики определения возможных границ зоны поражения селевыми потоками, каталоги различных видов экзогенных процессов широко используются органами принимающими решения.

Директор ИВП и ГЭ НАН КР, д.г.н., Д.Т. Чонтоев

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

г. – город
гг. – годы
оз. – озеро
р. – река
сев. - северный
хр. – хребет
центр. – центральный
КР - Кыргызская Республика
НАН - Национальная академия наук
ИВП и ГЭ - Институт водных проблем и гидроэнергетики
ТШВНЦ -Тянь-Шаньский высокогорный научный центр
АН РТ – Академия наук Республики Таджикистан
АС – автоматическая станция
ДЗЗ – дистанционное зондирование Земли
ГЭС – гидро-электростанция
МС -метеорологическая станция
СНГ – союз независимых госсударств
ЦМР - Цифровая модель рельефа
ALOS - Advanced Land Observing Satellite Японское космическое агенство
ASI - Итальянское космическое агенство
ASTER - Японский зонд, фотографирующий Землю с высоким разрешением в 15 диапазонах электромагнитного спектра, от видимого до инфракрасного излучения.
DLR - Германский центр авиации и космонавтики
DEM - Digital Elevation Model
NDVI - Нормализированный разностный растительный индекс
NDWI - Нормализированный разностный водный индекс
NDSI - Нормализированный разностный снежный индекс
NASA - Национальное управление по аэронафтике и исследованию космического пространства
IR - Ближняя инфракрасная волна света
JAXA - Японское агенство аэрокосмических исследований
Landsat - Американский спутник ДЗЗ
RGB - Обозначение цветов: красный, зеленый и синий
SRTM - Радиолокационная топографическая миссия шаттла
SWIR - Коротковолновый диапазон волны света
VI - Растительный индекс
USGS - United States Geological Survey- Американская геологическая служба
Ψ - пси индекс

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕДНИКОВ ВНУТРЕННЕГО ТЯНЬ-ШАНЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Р. А. Сатылканов; В.И. Шатравин; К. Б. Осмонбаева; Б. О. Эрменбаев; Д. Д. Саякбаев

1.1. Объекты исследований Тянь-Шанского высокогорного научного центра

Современные климатические изменения привели к заметной деградации ледников, которые питают все реки Центральной Азии. Негативные последствия этого процесса остро стоят перед Кыргызской Республикой, поскольку здесь велика роль гидроэнергетики и почти все земледелие является орошаемым. В 1998 г. были прерваны комплексные гидрометеорологические наблюдения на всех ледниках Тянь-Шаня. Восстановление системы наблюдений за состоянием ледников, установление закономерностей влияния изменений климата на их динамику, поступлением талых вод в основные гидросистемы страны и разработка мер адаптации к этим изменениям остаются актуальными проблемами. Целью исследований было выявление влияния климатических изменений на ледовые и водные ресурсы Северного Кыргызстана. Объектом исследований выбрана юго-восточная часть Прииссыккулья, где наблюдения за ледниками велись с перерывами с течение 70 лет. Для достижения поставленной цели решались две основные задачи:

Анализ климатических изменений за последние 70 лет;

Установление влияния изменений климата на деградацию оледенения и речной сток Иссык-Кульской котловины на примере бассейна р. Чон-Кызыл-Суу и опорного ледника Кара-Баткак.

Задачей исследований является построение надежных среднесрочных и долгосрочных прогнозов оледенения и водности рек Кыргызстана. Это является основой для планирования народнохозяйственного освоения водных и ледовых ресурсов Кыргызстана и необходимой прогностической информацией в деле урегулирования имеющих место противоречий с сопредельными государствами по вопросу использования воды трансграничных рек.

Район стационарных исследований охватывает типичные ландшафты Тянь-Шаня, которые с поразительной быстротой сменяются в диапазоне высот от 1608 до 4000 м: полупустыни и сухие степи переходят в лесо-степной, затем в субальпийский, альпийский и гляциально-нивальный пояса. Эта смена ландшафтов происходит на расстоянии 30 км от берега Иссык-Куля до ледника Кара-Баткак, что позволило организовать здесь еще в 30-е годы прошлого столетия, во-первых, неразрывное сочетание экспедиционного и стационарного методов научно-исследовательских работ, а во-вторых, - комплексный характер исследований. В таких условиях развитие физико-географических процессов проявляется контрастнее, многообразнее и более ускоренными темпами происходит влияние климатических изменений.

Тянь-Шанский высокогорный научный центр (ТШВНЦ) является преемником бывшей Тянь-Шанской физико-географической станции (ТШФГС), созданной в 1948 году, и выполняет комплексные исследования в бассейне р.Чон-Кызыл-Суу и на ледниках Внутреннего Тянь-Шаня. Научная база ТШВНЦ находится в с. Кызыл-Суу Жети-Огузского района Иссык-Кульской области.

В составе ТШВНЦ три лаборатории: гляциологии, береговых процессов, биогеографии, в которых продолжаются начатые ранее в ТШФГС и ведутся новые следующие наблюдения и исследования:

Метеорологические - с 1948 г.

Гляциологические 1956-1997гг. и с 2007 г.

Гидрологические 1954-1990 гг. и с 2013 г.

Палеогляциологические исследования - с 2008 г.

Палинологические исследования - с 2014 г.

Спутниковая калибровка уровня озера Иссык-Куль - с 2008 г.

Моделирование динамики ледников Внутреннего Тянь-Шаня и гидрологического баланса бассейна р. Чон-Кызыл-Суу - с 2015 г.

Изучение влияние леса на водный режим и пути естественного восстановления еловых лесов Тянь-Шаня - с 2018 г.

В ТШВНЦ полностью восстановлена прежняя инфраструктура ТШФГС и созданы новые аналоговые (МС) и автоматические (АМС) гидрометеорологические станции наблюдений (рис.1).

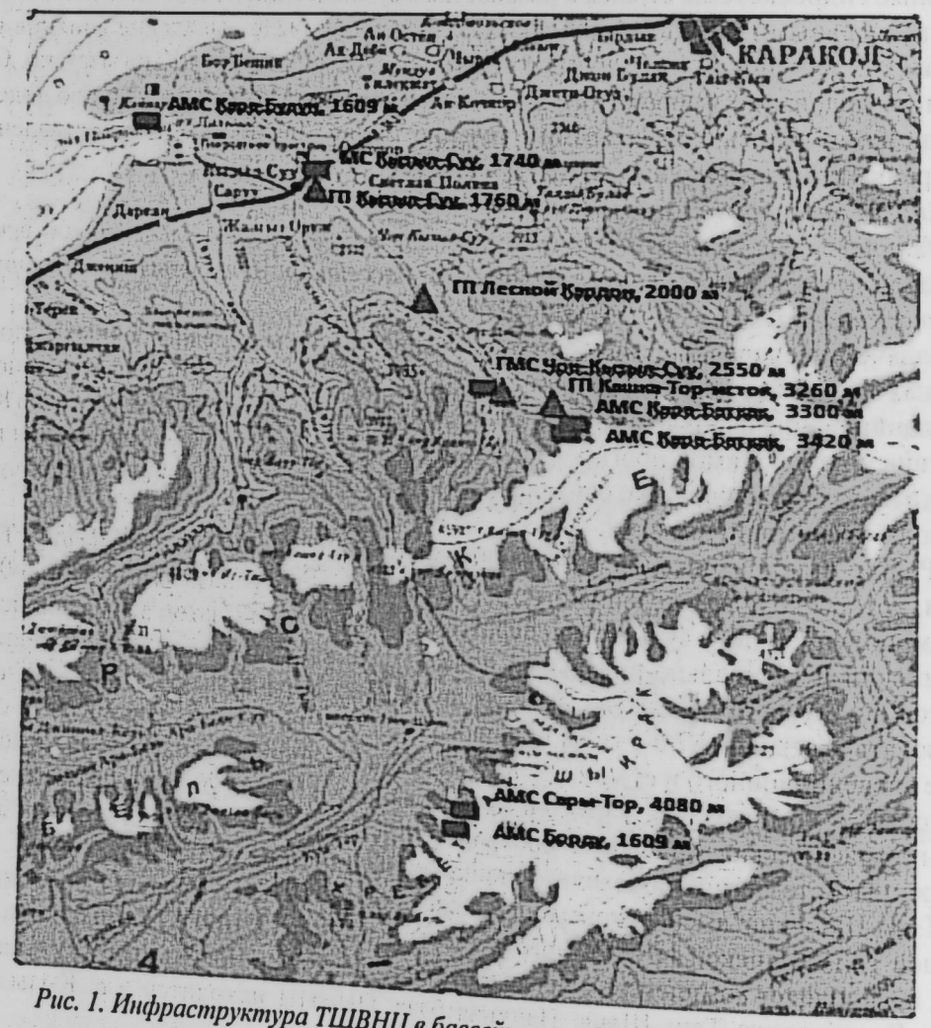


Рис. 1. Инфраструктура ТШВНЦ в бассейнах рек Чон-Кызыл-Суу и Нарын

В разных высотных зонах бассейна р.Чон-Кызыл-Суу созданы автоматические системы наблюдения природных процессов. Для сохранения однородности рядов наблюдений выполняется параллельные наблюдения на аналоговых и автоматических гидрометеорологических станциях.

1.2. Методы гляциогидрометеорологических наблюдений

В разных высотных зонах бассейна р.Чон-Кызыл-Суу созданы автоматические системы наблюдения природных процессов. Для сохранения однородности рядов наблюдений выполняется параллельные наблюдения на аналоговых и автоматических гидрометеорологических станциях.

С 2013 г. на леднике Кара-Баткак, как наиболее изученном и репрезентативном для Тескей Ала-Тоо, возобновлены ***гляциологические*** (максимальные снегозапасы, абляция по всему леднику и линейное смещение фронтальной отметки ледника***), метеорологические (***температура, влажность воздуха, осадки, ветер и солнечная радиация***) и гидрологические*** (измерение уровней, расходов воды и стабильные изотопы) наблюдения.

Для измерения компонентов баланса массы ледника Кара-Баткак на нем заложена сеть пунктов измерений. Она представлена снегомерными пунктами, шурфами в снегу и точками зондирования толщины снега с помощью снеголавинного зонда и абляционными рейками (рис.2). Для расчёта баланса массы в конце весны и в начале осени выполнялись площадные снегомерные съёмки, охватывающие всю доступную площадь ледника и осуществляемые путём зондирования толщи сезонного снега металлическими щупами. В разные годы число промерных пунктов варьировало от 18 до 75 в области питания и 24 до 183 на языке ледника.

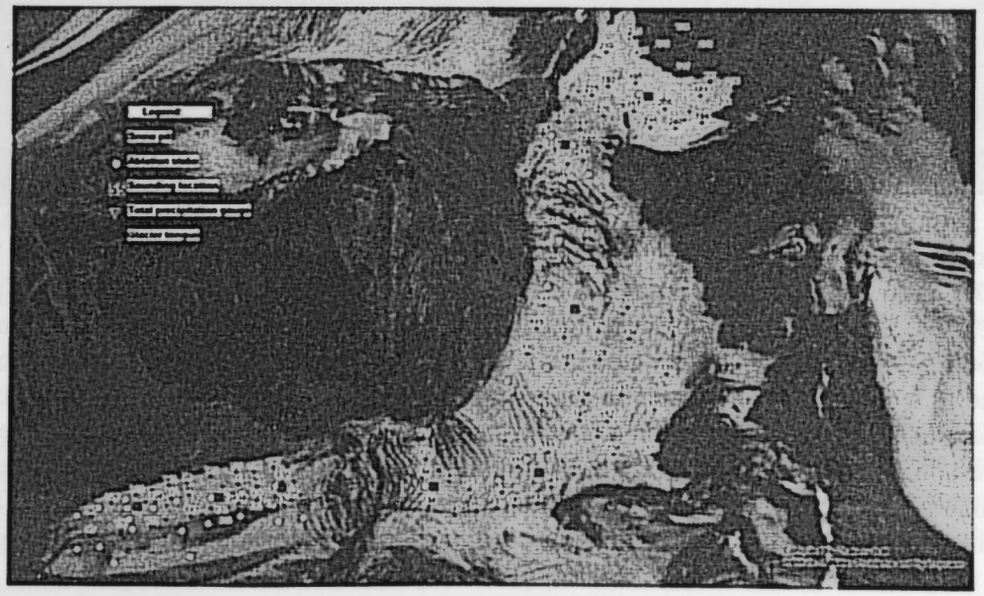


Рис. 2. Сеть пунктов измерений компонентов баланса массы на леднике Кара-Баткак, красными квадратами обозначены снегопункты - шурфы, желтые круги - абляционные рейки, цифрами - точки зондирования

Для определения величины аккумуляции проводится снегомерное профилирование. Измерение высоты слоя снежного покрова производят по нормали к склону с помощью металлических зондов-щупов. Для вычисления аккумуляции в единицах объема принимают в расчет реальную площадь поверхности склона (с учётом косинуса среднего угла наклона) [1].

Снегомерные работы в шурфе позволяют определить среднюю плотность снежной толщи для последующего пересчета измерений в мм водного эквивалента. Также шурфы уточняют толщину снежного покрова, тем самым уменьшая ошибки в работе определении границы «снег-фирн», связанные с наличием прослоев льда. Контролировать измерения зондами можно визуально по обнажениям толщи снега в трещинах и ледниковых мельницах. Измерения, резко отличающиеся от общего фона, отбраковываются и проводятся повторно. Так как снег на леднике подвержен процессам перераспределения, вариация мощности снежного покрова в пределах одной высотно-морфологической зоны (ВМЗ) существенна. Поэтому шаг, с которым следует делать точки снегосъемки, является функцией изменчивости аккумуляции.

В области накопления ледника к концу балансового года остается нестаявший снежный остаток. Для замера его величины проводится снегомерная съемка в конце сезона [2].

Поверхностная абляция определялась наиболее распространенным и точным методом – реечным. Суть метода состоит в наблюдении за понижением относительной поверхности снега, фирна или льда относительно уровня рейки [3]. На леднике в конце зимнего сезон устанавливаются рейки (по узлам сетки и ВМЗ). По сети наблюдается скорость истончения снежной толщи и изменения в её стратиграфии и плотности, что одновременно наблюдается и в шурфах. По мере освобождения поверхности ледника от снега, односекционные простые рейки заменяются на составные, многосекционные. Они забуриваются в лед механическим или паровым буром с расчётом на все время абляции (до конца балансового года). Помимо наблюдений за абляцией на языке, рейки устанавливают в зоне аккумуляции, где наблюдается поверхностное таяние снега и фирна. Отсчёт по рейкам в оптимуме следует снимать раз в пентаду [4].

Абляционные рейки на леднике Кара-Баткак забуривались на глубину от 4 до 6 м, в зависимости от высоты их расположения и скорости таяния льда. По мере вытаивания рейки перезабуривались на том же месте, и таким образом к концу абляционного периода получали суммарную величину стаявшего льда на данном участке. Количество реек в отдельные годы на языке ледника Кара-Баткак было разным, и с 2007 по 2016 гг. оно было увеличено с 12 до 21 в высотном диапазоне 3300-3500 м. Кроме того, в 2015 г. в верхней части ледника, включая зону его аккумуляции, на высотах от 3600 до 4100 м было забурено еще 13 абляционных реек. 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.

Помимо прямых гляциологических работ, на леднике проводятся метеорологические и гидрологические наблюдения на установленной АМС. Гидрологические работы ведутся на замыкающем ледниковый бассейн створе и на каждом притоке р. Чон-Кызыл-Суу. Гидрометеорологические данные служат для уточнения расчётов компонентов баланса массы и отражают эволюционные тенденции ледника [5, 6].

Для измерения общего количества сезоных осадков использовалось 3 суммарных осадкомера, установленныъ на разных высотах. Они состоят из коллектора, помещенного над воронкой, соединенной с контейнером, объем которого достаточен для того, чтобы вместить сезонный сбор. Верхний размещался на леднике Кара-Баткак на высоте 3500 м, средний - под ледником на морене (3300 м), нижний - на МС Чон-Кызыл-Суу на высоте 2555 м. Снятие осадков с суммарных осадкомеров проводилось ежемесячно с июня по сентябрь, а за холодное время года - два раза - в октябре и в мае. Для измерения суточных осадков применялся осадкомер Третьякова.

Систематические гидрологические наблюдения в бассейне р.Чон-Кызыл-Суу велись ТШФГС с 1954 по 1968 г. на пяти гидрометрических створах, которые оборудованы на притоках р. Чон-Кызыл-Суу и находятся в верхней зоне бассейна в интервале высот 2650-3300м. Кроме того, в бассейне имеются два гидрометрических створа, принадлежащих УГМС Киргизской ССР (Лесной кордон 2000 м и Кашка-Тор-устье 2550 м). На гидрометрическом створе Кашка-Тор-исток (3260 м), в питании которого подавляющую роль играют воды от таяния ледника Кара-Баткак, наблюдения велись в 1956-1969 гг. С 2013 г. восстановлены гидрологические наблюдения на гидрометрическом створе Кашка-Тор-исток, а в 2015 г. – на Кашка-Тор-устье (рис. 3, 4). На этих створах установлены автоматические датчики уровня воды (логгеры), продолжаются наблюдения за уровнем по сваям и периодически по мере изменения уровня воды измеряется ее скорость.

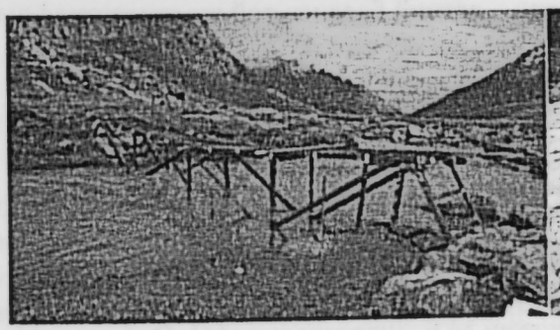


Рис. 3. Гидрологический пост Кашка-Тор -исток



Рис. 4. Гидрологический пост Кашка-Тор- устье

Результаты наблюдений на этих гидрометрических створах были использованы для построения гидрографов стока этой реки.

Поскольку р.Кашка-Тор вытекает из небольшого приледникового озера Кара-Баткак (3300 м), сток его несколько зарегулирован, т.е. талая вода сначала попадает в озеро, а затем в реку. Однако глубина и объём озера небольшие, ход уровня воды в озере и реке синхронный, они имеют тесную связь. Для генетического вертикального расчленения гидрографа стока на источники формирования жидкой фазы была заимствована расчётная методика Г.Н.Голубева [7].

Величина каждого источника питания выражается в слое стока (мм) с поверхности (площади) водосбора. Среднесуточный расход воды переводится в слой стока h по формуле:

$$h=QT/F\cdot 10^3, \quad (1)$$

где Q - среднесуточный расход воды, $м^3/с$, Т- число секунд в расчетном периоде, F – площадь водосбора, $км^2$.

Рассчитанный по среднесуточным расходам воды слой стока затем суммируется за период снегового половодья (до июля) и ледового (за июль-сентябрь). Дождевое питание определялось как сумма всех осадков, выпавших на поверхность ледника за период июнь-сентябрь.

1.2.1. Методы оценки баланса массы ледников на примере ледника Кара-Баткак

Методика масс-балансовых вычислений в период 1956-1997 гг. отличалась от современной. Аккумуляция вычислялась косвенным путём, только для фирновой области, исходя из замыкания водного баланса. Суммарное поступление осадков в фирновую область рассчитывалось по осадкам, выпавшим на языке ледника, с учетом наведенной корреляции. При этом вводились поправки на изменение количества осадков с высотой. Абляция рассчитывалась для высоты до 3900 м поверхности ледника. При определении баланса массы ледника за основу расхода принимались данные по стоку со всей поверхности ледника. Принципиальная расчётная схема тяготела к подходу «чистая аккумуляция – чистая абляция» стратиграфической отчётной системы. После возобновления масс-балансового мониторинга в 2013/14 г. предпочтение было отдано подходу «зимний баланс – летний баланс» той же стратиграфической системы.

Прямой метод расчета баланса массы ледника заключается в постоянных наблюдениях за составляющими теплового, ледового и водного балансов в ледниковом бассейне. Именно непрерывность ряда дает ему статистическую значимость. Специфика ледникового бассейна состоит в том, что большая часть оборота воды происходит через твердую фазу, а в водном балансе лидирующую роль играет баланс льда *[8]*. Параметры ледника, такие как площадь, аккумуляция, абляция, положение границы питания (ELA - equilibrium line altitude) и другие, измеряются множеством методов. Наиболее точный и популярный метод изложен М.Б. Дюргеровым *[4]*. Он заключается в снегомерной съемке по сети точек и денсиметрии в шурфах в период аккумуляции и в отсчетах по рейкам в период абляции. Также необходимо учитывать ряд поправок за счёт неизбежных систематических ошибок, связанных как с человеческим фактором, так и со свойствами снежного или ледового покрова. Для анализа распределения баланса массы по всей площади ледника его разбивают на высотно-морфологические зоны. Это элементарные участки, которые характеризуются определенным высотным протяжением и однородностью условий рельефа по крутизне и экспозиции *[4]*. Измерив аккумуляцию и абляцию в точках поверхности ледника, высчитывают составляющие баланса для высотно-морфологических зон (ВМЗ), а затем для всего ледника. Баланс массы равен разнице суммарной аккумуляции Ак и суммарной абляции Аб:

$$b_n = Ак - (Аб - F), \quad (2)$$

где F – поправка на внутреннее питание *[7, 9]*.

Аккумуляция Ак– это совокупность процессов, приводящих к нарастанию массы ледника:

$$Ак = Хт \pm L \pm V \pm D, \quad (3)$$

где Хт – сумма твердых осадков; L – баланс процесса «испарение/конденсация» (изморозь, нарастающие осадки); V – поступление массы со склонов (лавинная подпитка, обрушение карнизов, псевдовязкое течение снега и пр.); D – метелевый перенос.

Вопрос о количественной оценке внутреннего питания на данный момент плохо проработан. Для определенного ледника можно оценить величину декремента абляции на основе многолетних наблюдений за компонентами баланса массы. Например, во время мониторинга баланса массы ледника Сары-Тор велись ежегодные оценки внутреннего питания [10]. По полученным данным, внутреннее питание может достигать 35%, а наложенный лед – 15% от чистой аккумуляции.

1.3. Особенности климатических изменений в Иссык-Кульской котловине

В ТШВНЦ с 2013 г. ведется мониторинг современных изменений климата в 3-х разновысотных зонах:

озерный стационар Кара-Булун, на высоте 1609 м;

гидрометеорологический стационар Чон-Кызыл-Суу, на высоте 2555 м;

гляциологический стационар Кара-Баткак, на высоте 3300 м.

Такой мониторинг позволяет изучать современные изменения климата на различных высотах и уточнять климатические модели в Центрально-Азиатском регионе.

1.3.1. Температура воздуха

Различия климатических условий разновысотных поясов гор весьма существенны. Так, по данным [Голубева, 1976] интенсивность солнечной радиации возрастает примерно на 10% на каждый километр высоты. Однако длинноволновое излучение земной поверхности с высотой увеличивается еще быстрее, поэтому температура воздуха понижается в среднем на 0,5-0,6 ^{0}C на каждые 100 м подъема.

В таблице 1 приведены месячные и годовые высотные градиенты температуры воздуха Иссык-Кульской котловины.

Таблица 1. Высотные градиенты температуры воздуха в Иссык-Кульской котловине, ^{0}C/100 м

Месяцы года	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Высотный градиент температуры, ^{0}C/*100 м*	0,76	0,72	0,7	0,71	0,68	0,7	0,72	0,71	0,7	0,7	0,73	0,75	0,72

Из таблицы 1 следует, что температурный градиент воздуха Иссык-Кульской котловины незначительно колеблется вокруг среднего значения 0,72°/100 м. Вероятно, это связано с отсутствием зимних инверсий температуры воздуха.

На рисунке 5 представлен ход среднегодовой температуры воздуха с устойчивым трендом её повышения по данным МС Кызыл-Суу за весь период наблюдений. Повышение годовой температуры воздуха за период 1951-2018 гг. составило 1,5 °С, или 0,022 °С в год.

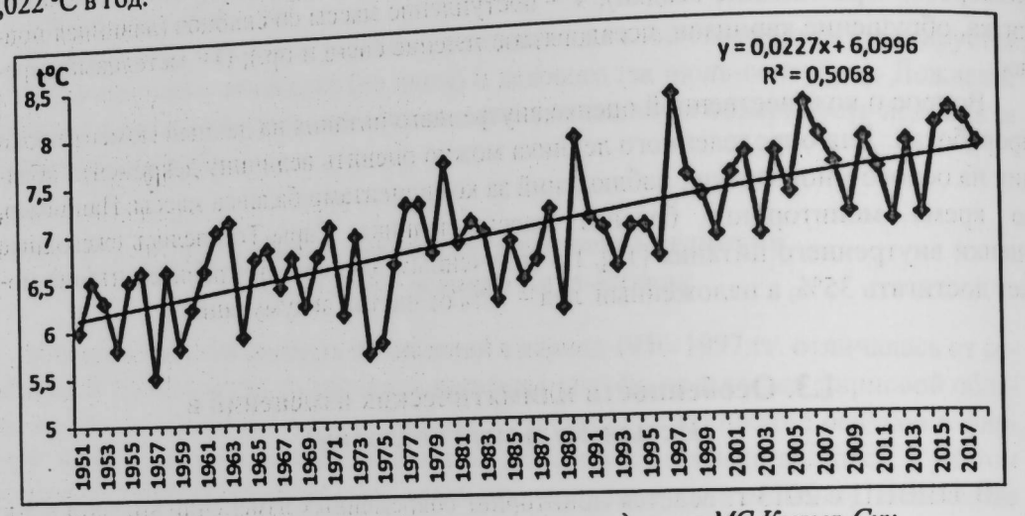


Рис.5. Тренд среднегодовой температуры воздуха на МС Кызыл-Суу за период наблюдений с 1951 по 2018 гг.

На рисунке 6 приведены среднесуточные температуры воздуха на леднике Кара-Баткак в абляционные сезоны периода 1971-2019 гг. Они получены с недельного самописца в абляционные сезоны этого периода, когда наибольшие температуры приходятся на июль и август месяцы.

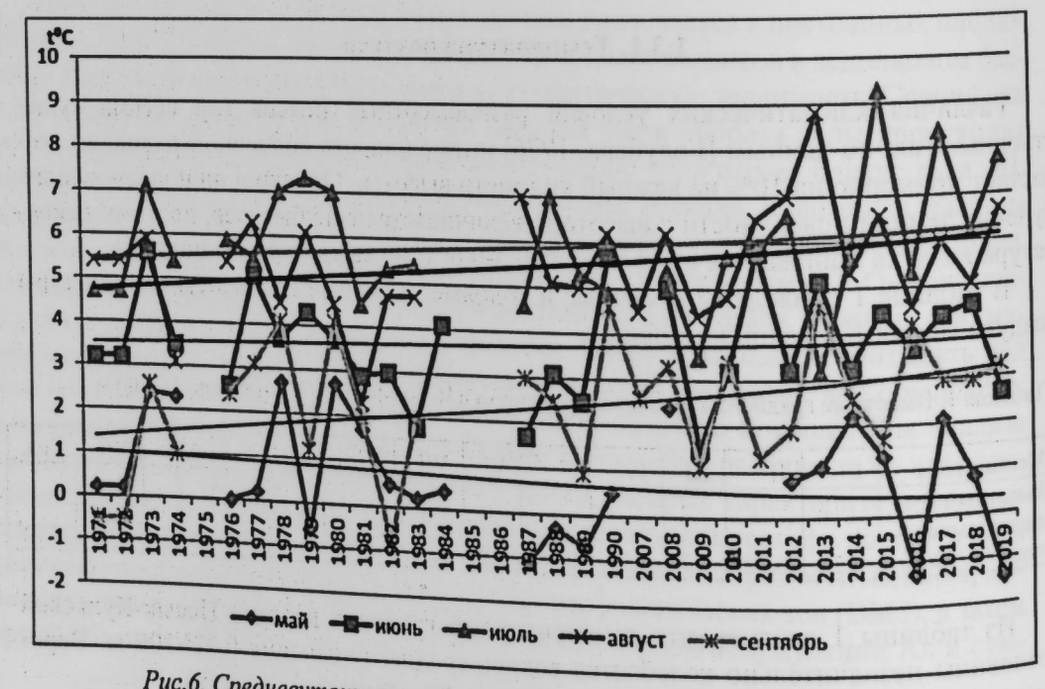


Рис.6. Среднесуточная температура воздуха на леднике Кара-Баткак в абляционные сезоны 1971-2019 гг.

По данным рис. 5, 6 можно заключить следующее:

в 1971-2019 гг. в июле, августе и сентябре тренды температуры воздуха положительные, в июне - в квазистационарном состоянии, в мае –отрицательные;

в 2013 г., аномально высокие температуры воздуха наблюдались в августе;

в 2015 и 2017-2019гг. наибольшие положительные температуры повторялись в июле;

в 2015 г. в июле наблюдался продолжительный (более 2-х недель) высокий температурный фон;

в 2016 г., в июле были дни с отрицательными температурами воздуха;

в 2017 г. был наибольший по продолжительности период с положительными температурами воздуха (105 дней), обусловленный положительным трендом температуры воздуха в сентябре;

2018 г. - в пределах нормы;

в 2019 г. май-июнь был самым холодным с 2010 г., а июль и август жаркие.

1.3.2. Влажность воздуха

Наибольшая относительная влажность воздуха в приозерной равнине отмечается в зимние месяцы, в лесолугово-степном и гляциально-нивальном поясах - в мае-августе; наименьшая - в приозерной равнине в летние месяцы, а в лесолугово-степном и гляциально-нивальном поясах в зимние месяцы.

На рисунке 7 приведен график влажности воздуха по данным АМС Кара-Баткак с 21.07.2017 по 24.09.2019 г. В летний период относительная влажность выше, чем в холодный.

Количество влаги, привносимой воздушными течениями на территорию Иссык-Кульской котловины, велико. Хребты Тескей Ала-Тоо достаточно высоки, чтобы "выхватвать" из атмосферы часть влаги в виде твердых осадков.

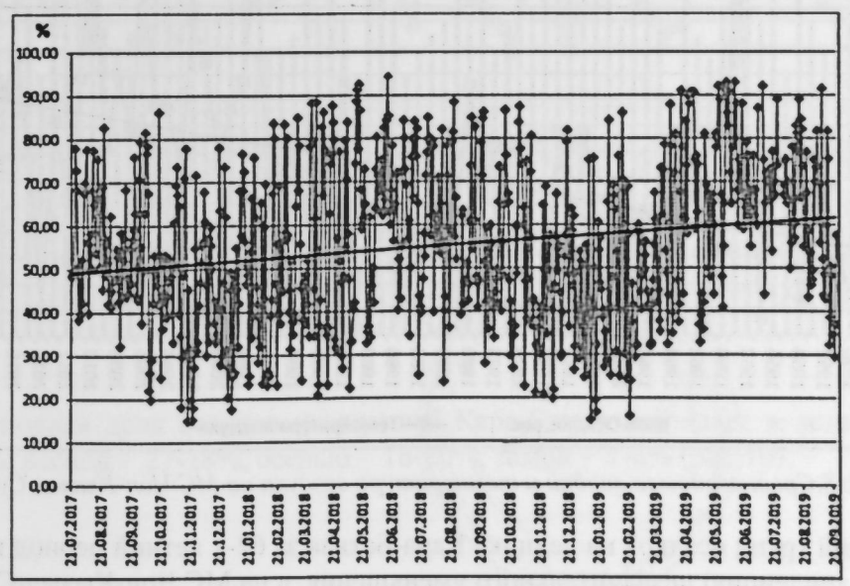


Рис.7. Относительная влажность воздуха на леднике Кара-Баткак с 21.07.2017 по 24.09.2019 г.

Атмосферные осадки

Среднегодовой ход основных метеорологических величин, отраженный на рис. 8, показывает квазистацирнарное состояние атмосферных осадков и повышение температуры воздуха на 1,5 0С за период 1948-2019 гг. Подобные тренды характерны и для других метеостанций Внутреннего Тянь-Шаня.

Детальный анализ среднегодовых осадков показывает их особенности в отдельные годы. Аномально много осадков выпало в 1974, 1981, 2012 и 2016 гг. Минимальное количество осадков в лесной зоне за последние годы наблюдений было в 2014, 2017 и 2018 гг. Наиболее характерная особенность распределения атмосферных осадков в любой горной системе - их сложная и неоднозначная зависимость от макро- и мезорельефа. Большую роль в распределении количества выпадающих осадков в высокогорных районах играет ориентированность основных хребтов, их высота, компактность, взаимное расположение, степень расчлененности и другие факторы. По высотным градиентам месячных осадков м/с Чон-Кызыл-Суу и Кара-Баткак нами были восстановлены значения месячных сумм осадков на м/с Кара-Баткак с 1957 по 2018 гг. Из рис. 9 видно, что в одни годы осадки увеличивались, в другие годы оставались неизменными, но в многолетнем плане их количество с высотой возрастает. Об этом свидетельствуют и данные снегомерных съемок, полученные нами, начиная с 2013 г. Результаты измерения, выполненного в середине июня 2016 г., показали, что максимальный запас снега на языке ледника Кара-Баткак на высоте 3300 м составил 456 мм вод.экв., на высоте 3500 м - 561 мм вод.экв., на высоте 4083 м - 980 мм вод.экв. (табл.2).

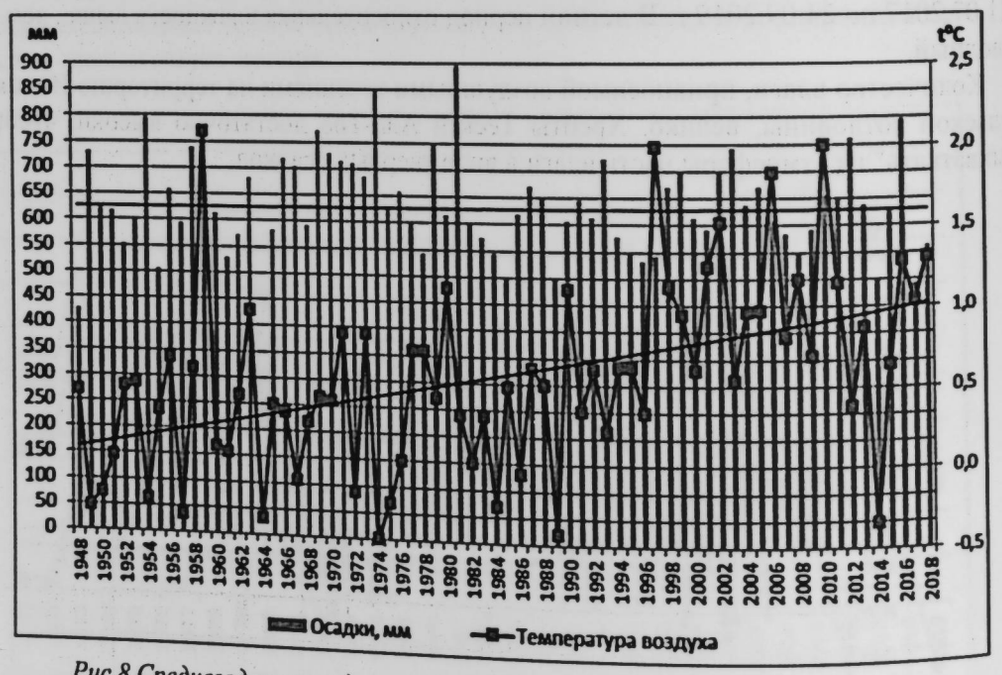


Рис.8.Среднегодовые осадки и температура воздуха на МС Чон-Кызыл-Суу

Общий тренд осадков на леднике Кара-Баткак за 62-х летний период наблюдений имеет тенденцию незначительного уменьшения, а на МС Чон-Кызыл-Суу тренд осадков за 70 лет был без изменения (рис.9).

Таблица 2. Годовые суммы атмосферных осадков (мм) на разных высотах бассейна Чон-Кызыл-Суу

Балансовые Годы	Осадки на разной высоте, мм			Балансовые годы	Осадки на разной высоте, мм		
	2150 м	2550 м	3300 м		2150 м	2550 м	3300 м
1956/57	535	646	770	1965/66	564	754	1015
1957/58	570	773	913	1966/67	562	777	937
1958/59	588	828	1036	1967/68	529	719	739
1959/60	553	680	936	2013/14		385	442
1960/61	515	594	665	2014/15		702	726
1961/62	526	620	793	2015/16		773	1431
1962/63	542	708	815	2016/17		580	730
1963/64	757	883	1134	2017/18		565	
1964/65	508	598	876	2018/19		460	
Среднее					562	669	872

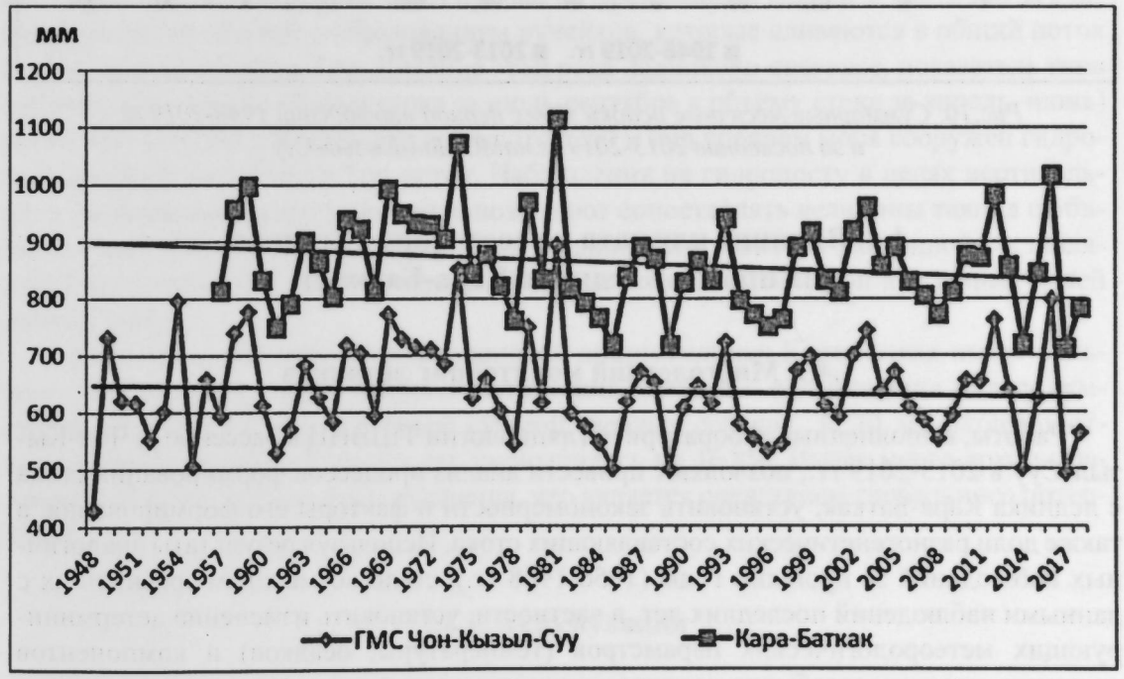


Рис.9. Среднегодовые осадки на МС Чон-Кызыл-Суу (2555 м) и МС Кара-Баткак (3300 м)

Основная доля осадков на леднике Кара-Баткак выпадает в летние месяцы - 44-47%, весной - 27-28%, осенью - 18-20%, зимой - 7-8% (рис.10).

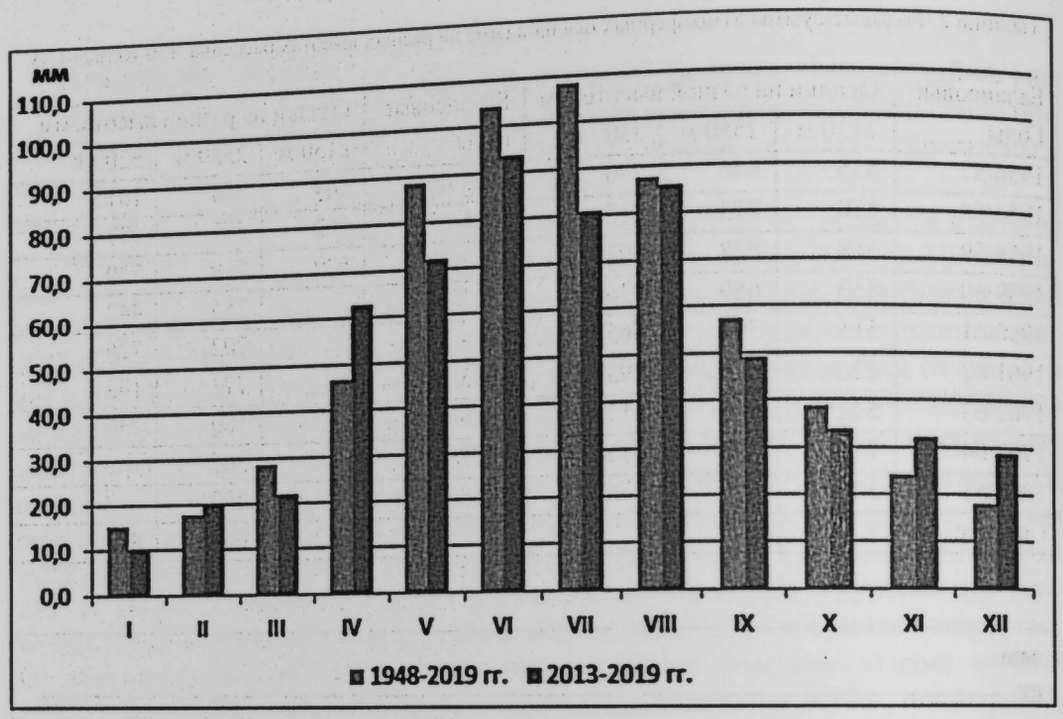


Рис.10. Суммарные месячные осадки за вес период наблюдений 1948-2019 гг. и за последние 2013-2019 гг.наМС Чон-Кызыл-Суу

1.4. Влияние климата на состояние ледников (на примере ледника Кара-Баткак)

1.4.1. Многолетний мониторинг ледников

Работы, выполненные лабораторией гляциологии ТШВНЦ в бассейне р. Чон-Кызыл-Суу в 2013-2019 гг., позволяют провести анализ процессов формирования стока с ледника Кара-Баткак, установить закономерности и факторы его формирования, а также доли разногенетических составляющих стока. Используя результаты аналогичных наблюдений за прошлые годы (1956-1968 гг.), стало возможным сравнить их с данными наблюдений последних лет, в частности, 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) на фоне климатических изменений.

По морфологическим показателям долинные ледники Тескей Ала-Тоо имеют много сходных черт, поэтому ледник Кара-Баткак может выступать в качестве репрезентативного, и приводимое ниже его описание, характерно для большинства из них.

Ледник Кара-Баткак находится в верховьях р. Кашка-Тор, правого притока р.Чон-Кызыл-Суу и является объектом гляциологического мониторинга с 1948 г. Ледник занимает 62% площади бассейна р. Кашка-Тор. Это долинный ледник с областью питания северо-западной, а на языке - северной экспозиции *(42°08' N; 78°16' E)*.

Первая фототеодолитная съёмка ледника была произведена в 1948 г. М.И.Ивероновой [12]. Согласно её данным, площадь ледника Кара-Баткак тогда равнялась 4,7 км^2. К сентябрю 1964 г. она уменьшилась до 4,58 км^2, из них 3,38 км^2 приходилось на зону аккумуляции и 1,20 км^2 на зону абляции [12-14, 16]. Однако, в суммарную площадь ледника по итогам этих съёмок могли войти участки погребённого и мёртвого льда, что внесло известное преувеличение размеров ледника.

В 2017 г. конец языка ледника располагался на высоте 3321 м, а его высшая точка, совпадающая с максимальной высотой всего бассейна р. Кашка-Тор, - на высоте 4800 м, длина ледника около 3500 м, средняя ширина – 750 м, площадь – 2,467 км^2, из которых на зону абляции ледника в разные годы приходится от 1,470 до 1,819 км^2. Продольный профиль ледника имеет ступенеобразный характер, осложнённый двумя ледопадами. Граница между областями питания и абляции проходит по верхнему ледопаду. Язык ледника окаймлен конечной и боковыми моренами, содержащими в своём ядре погребенный лед. Между языком ледника и валом конечной морены малого ледникового периода находится ледниковое озеро Кара-Баткак (урез 3321 м), уровень которого значительно изменяется в течение года. Сток из озера осуществляется путём перелива через проран во фронтальной морене и частично за счет фильтрации из-под неё с образованием ручейков, которые сливаются в общий поток и дают начало р.Кашка-Тор. Питание этой реки ледниково-снеговое, показатель типа питания (отношение объёма стока за июль-сентябрь к объёму стока за апрель–июнь) равен 4,06 [16]. На р.Кашка-Тор на высоте 3260 м над уровнем моря сооружен гидрометрический пост Кашка-Тор-исток. Наблюдения на гидропосту в целях вертикального расчленения гидрографа стока позволяют сопоставлять величины таяния с объемом стока. Установление связей между ледниковым стоком и расходной составляющей вещественного баланса ледника Кара-Баткак является одной из главных целей данной работы.

Диапазон колебаний высоты фирновой линии ледника Кара-Баткак имеет большую амплитуду, отражая макроклиматические условия – соотношение между суммарным теплоприходом и годовой суммой твердых осадков. За 70 лет площадь открытой части ледника Кара-Баткак уменьшилась на 46,8%. Имеет место ярко выраженный тренд к деградации оледенения, что является следствием глобального потепления.

1.4.2. Аккумуляция

Снегомерные работы на леднике выполнялись в конце сезона максимального снегонакопления (апрель-май) и в конце сезона абляции (сентябрь) путем зондирования толщины снежного покрова и ее контроля в шурфах. При проходке шурфов определялась плотность снега (см. рис. 2).

Наличие продолжительного ряда прямых наблюдений на леднике Кара-Баткак в 1957-1998 гг. и 6-ти летняя современная серия наблюдений (2013/14-2018/19) позволяют ответить на один из главных вопросов используемой методики реконструкции – о допущении актуалистичности. Первичной информацией для реконструкции служили результаты прямых измерений компонентов bn и длинные ряды метеонаблюдений м/с Чон-Кызыл-Суу (2555 м), коррелированные с данными АМС Кара-Баткак (3400 м) и приведенные к единому ряду 1948-2018 гг. (см. рис. 8, 9).

По данным М.И.Иверoновой [1-5], И.Д.Цигельной и Г.Н.Голубевой [6,7], А.Н.Диких и В.И.Михайловой [8,9], на поверхности ледника Кара-Баткак постоянный снежный покров устанавливается в середине сентября. В период 2013-2019 гг. постоянный снежный покров на этом леднике устанавливается в среднем на 10 дней позже - 26 сентября. В 1956-1968 гг. дата максимального запаса сезонного снега на поверхности ледника Кара-Баткак устанавливалась к 26 апреля, в 2013-2019 гг. - в середине мая, в 2008-2012гг. - в начале мая, а в наиболее увлажненный 2016 г. - в начале июня.

В таблице 3 приведен максимальный запас воды в снеге на леднике Кара-Баткак в период 2007-2019 гг. В среднем за период мониторинга он составил 493 мм.вод.экв. Наименьший запас воды зафиксирован в 2013/14 балансовый год, максимальный –в 2016/17.

Таблица 3. Максимальный запас воды в сезонном снеге на разных высотах ледника Кара-Баткак, мм вод.экв.

Годы	Высота над уровнем моря, м								
	3317	3355	3427	3638	3690	3745	3988	4058	3317-4058
2007	148	154	132						
2008	249	429	287						
2009	150	180	192						
2010	209	163	127						
2011	202	223	225						
2012	254	224	253						
2013	338	360	422						
2014	236	261	275	547		137	181		**273**
2015	422	422	445	528	656	541	580	603	**525**
2016	456	455	561	542	470	380	585	980	**554**
2017	513	536	508	643	702	477	544	828	**594**
2018	331	395	408	663	471	431	585	794	**510**
2019	367	400	441	348	365	328			**375**
Среднее	298	323	329	545	533	382	495	801	**463**

Максимальный запас сезонного снега в зоне абляции и аккумуляции ледника Кара-Баткак (3321-4200 м) в 2014-2019 гг. составил 485 мм вод.экв., наибольшее значение (594 мм вод.экв.) было в 2017 г. или на 47 мм больше, чем в 1956-1968 гг.

На рис. 11 представлены результаты расчета снегозапасов в водном эквиваленте сезонного снега на леднике Кара-Баткак по материалам снегомерных работ в 2013-2019 гг.

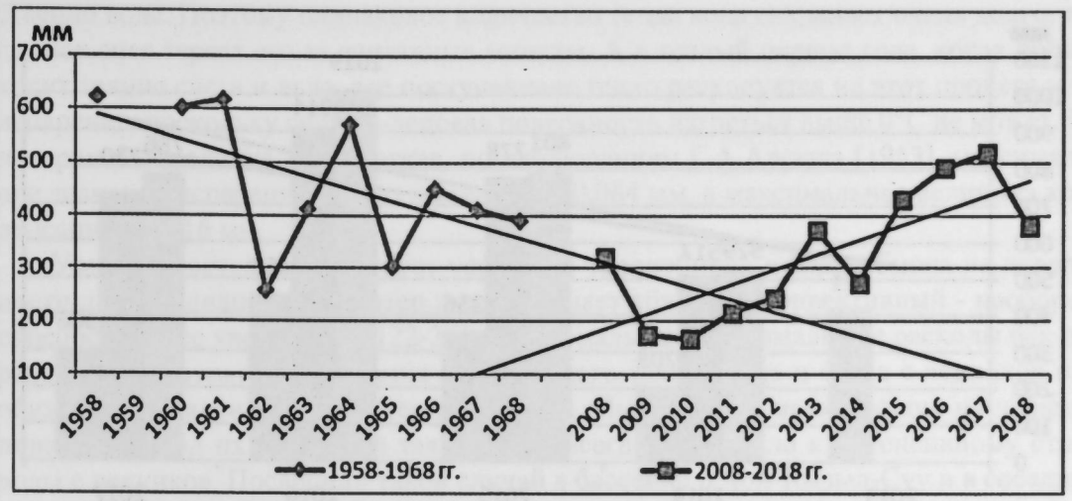


Рис. 11. Среднемесячные запасы воды в сезонном снеге на языке ледника Кара-Баткак

Наибольший запас воды в сезонном снеге был в 2016/17 балансовом году. Тогда за холодный период (с 01.10.2016 по 13.05.2017 г.) на языке ледника Кара-Баткак накопилось 519 мм вод.экв. снега, а аккумуляция всего ледника в слое воды достигла 560 мм. В 2017 г. самый большой водозапас в сезонном снеге при максимальной температуре воздуха (5,4 ^{0}C) и самой большой абляции ледника (3065 мм вод.экв.) был причиной формирования самого большого слоя стока (10380 мм) с ледника Кара-Баткак по гидрологическим данным.

За последнее десятилетие на ледник Кара-Баткак выпадало сезонного снега на 30% меньше, нежели на начальный период наблюдения 1958-1968 гг. (рис. 11). Особенно сильно в меньшую сторону отличалась аккумуляция на леднике в 2009-2012 гг. и в 2014 г., когда сезонный снегозапас был меньше 300 мм. вод.экв. В течение первого периода наблюдений обнаруживалась тенденция снижения снегозапасов, тогда как за последние 10 лет аккумуляция снежного покрова демонстрирует тренд роста. Такой же тренд проявляется и для суммарного количества осадков, выпавших на поверхность ледника Кара-Баткак в нижней и верхней частях языка ледника на высотах, соответственно, 3300 и 3500 м (рис. 12).

После восстановления мониторинга наименее увлажненным изо всех лет наблюдений был 2013/14 балансовый год. Осадки, отнесённые ко всему языку ледника Кара-Баткака в высотном поясе 3300-3500 м, составили 523 мм, или 66% нормы. Самым влажным в этой зоне был 2015/16 год, осадки которого составили 967 мм, или 122% нормы. Амплитуда между экстремумами таким образом составила немалую величину - 444 мм.

На рис.12 отдельно показано количество осадков, выпавших у края ледника только за сезон летнего половодья (осадкомер Третьякова, 3300 м, июнь-сентябрь). Этот параметр привлекает к себе внимание по двум причинам. Во-первых, летние осадки имеют исключительную практическую важность для районов орошаемого земледелия, к которым относятся предгорья Тескей Ала-Тоо. Во-вторых, для Центральной Азии (как, впрочем, и для большинства внутриконтинентальных районов Земли) свойственно преобладание осадков тёплого периода в годовой сумме – это своего рода показатель степени континентальности района. Известно, что доля летних осадков здесь может доходить до 47% [24].



Рис. 12. Средние значения количества осадков на леднике Кара-Баткак

Полученные на леднике Кара-Баткак результаты показывают, что среди других гляциологических объектов Внутреннего Тянь-Шаня Тескей Ала-Тоо как периферийный хребет этого сектора горной системы отличается пониженной долей летних осадков в годовой аккумуляции: в разные годы она варьирует от 39 до 67% при среднем значении, даже не достигающем половину годовой (47,6%). Следовательно, условия Кара-Баткака можно признать не резко, а лишь умеренно континентальными.

1.4.3. Абляция

Широтное положение хребта Тескей Ала-Тоо (42^0 с.ш.) и большие абсолютные высоты благоприятно сказываются на суммарном приходе солнечной радиации - основном факторе, предопределяющем абляцию и, как следствие, баланс массы ледника. На приход солнечной радиации оказывают влияние высота местности, закрытость горизонта и облачность. Возможная продолжительность солнечного сияния на территории Киргизии за год колеблется в пределах 2500-2750 часов [15]. На периферийных хребтах из-за большей закрытости горизонта и развитости конвективных процессов сумма часов солнечного сияния гораздо меньше (ГМС "Чон-Кызыл-Суу"- 1800 часов). Максимальные значения радиационного баланса, измеренные на высокогорных ледниках Кавказа, Тянь-Шаня и Памиро-Алая, достигают 1,6–1,7 кал/см^{2}мин (1,12–1,19 кВт/м^2), что на 15–20% больше, чем на равнине. Максимальная величина, зарегистрированная на ГМС "Тянь-Шань" составляет 1,68 кал/см^{2}мин, тогда как на леднике Кара-Баткак солнечная радиация не превышала 1,53 кал/см^{2}мин, а месячный приход тепла составил 9,3 ккал/см^2 [17]. При этом не все компоненты радиационного баланса обусловлены температурой воздуха, поскольку она определяется только длинноволновой частью спектра, а также механизмами молекулярной и турбулентной проводимостью воздуха и содержащегося в атмосфере водяного пара [17]. Из-за малой теплоемкости лед не может накапливать тепловую энергию, что свойственно воде. Поэтому одинаковое количество тепла вода сохраняет очень долго, тогда как снег теряет его за считанные минуты. А в теплый период года, когда происходит таяние снега и льда, все поступающее тепло расходуется на этот процесс и на испарение, поскольку снежно-ледовая поверхность нагреться выше 0°С не может. На поверхности ледника Кара-Баткак, по наблюдениям Г.А.Авсюка [1953], максимальное значение испарения за сутки равнялось 0,084 мм, а максимальная величина конденсации - 0,216 мм.

Усиление ветра способствует усилению теплообмена и влагообмена на поверхности льда. Радиационный ветер преуменьшает абляцию, конвективный - наоборот, способствует ее увеличению [22-26]. Экстремальные максимальные расходы рек образуются в результате сочетания повышенного таяния льда и стока с ледников при обильном выпадении на них теплого дождя. Имели место выпадающие на ледники ливни в период их активного таяния. Это всегда приводило к интенсивному стоку воды с ледников. Последний такой случай в бассейне р.Чон-Кызыл-Суу и в соседних долинах имел место 03.08.2013. В тот день расход воды на гидропосту Кашка-Тористок составил 2,02 м^3/с при среднем для первой декады августа значении 1,3 м^3/с.

Наиболее удобным для косвенных расчетов таяния и сравнительно легко прогнозируемым метеоэлементом является температура воздуха, являющаяся функцией притока солнечной радиации, адвективного тепла, влияния осадков и облачности. На каждый градус положительной температуры воздуха приходится от 6,8 до 9,2 мм растопленного льда, в среднем 7 мм [40].

Как было показано выше, за 65-летний период произошло увеличение среднегодовой температуры воздуха от 6,0 ^{0}С до 7,5^{0}С (см. рис. 5), т.е. градиент потепления составил 0,022 ^{0}С/год. Температура воздуха прочно удерживает ведущее место среди метеорологических показателей, используемых для расчета таяния ледников. Определяющую роль в интенсивности таяния снега и льда на горных ледниках умеренных и субтропических широт играет солнечная радиация, на которую приходится до 80–90% всего тепла, расходуемого на абляцию, Волошина, 2006, причём роль этой переменной возрастает именно в континентальных районах Земли. Довольно тесная связь таяния ледников с температурой воздуха объясняется тем фактом, что многие составляющие теплового баланса (длинноволновая часть радиационного спектра, конвекция, баланс процесса испарение-конденсация) содержат прямую или косвенную информацию об этом метеорологическом параметре.

Связь поглощенной ледником солнечной радиации $B_к$ и температуры воздуха хотя и косвенная, но достаточно тесная. Связь же температуры воздуха и баланса длинноволновой радиации прямая и функциональная, но в абсолютном выражении вклад баланса длинноволновой радиации $B_д$ невелик.

Характерная особенность распределения температуры над ледником – это ее инверсия в течение всех суток. Наиболее холодные и плотные слои воздуха, располагающиеся у поверхности, тормозят его перемешивание и тем самым сокращают количество тепла, получаемое из воздуха поверхностью ледника. В то же время над участками суши, свободными от снега и льда, в дневные часы происходит нагревание воздуха от скал и морены и его «всплывание», т.е. наблюдается термическая турбулентность (конвекция).

Следовательно, температура воздуха может служить хорошим индикатором интенсивности таяния, так как она тесно связана (прямо или косвенно) с большинством

важнейших компонентов теплового баланса. Кроме того, немаловажную роль играет тот факт, что температуру воздуха можно легко измерить с достаточной степенью точности на леднике, вблизи него или экстраполировать от ближайшей метеостанции.

Связь температуры воздуха и таяния (абляции) ледников А.П.Волошина [2006] предлагает выражать через температурный коэффициент таяния *Kt* –количество стаявшего снега или льда, приходящиеся на 1^0C положительной средней суточной температуры воздуха. Наиболее детальные исследования этого показателя были приняты В.Л.Шульцем [1949]. на ледниках и снежниках Средней Азии в сороковые–пятидесятые годы прошлого столетия.

Температурный коэффициент таяния – это самый простой показатель, используемый для расчета таяния снега и льда. Но и он характеризуется неопределенностью, т.е. большими колебаниями в пространстве и во времени, особенно при низких температурах воздуха (ниже 5 ^{0}C). Этот показатель с достаточной степенью точности может использоваться при большом осреднении (не менее декады) и для значительных по площади участков ледников или снежников. Для ледников умеренных широт его средняя величина составляет 5–7 мм/^{0}C·сут [11]. По данным наблюдений в 2014-2016 гг. на леднике Кара-Баткак на высоте 3400 м для снега этот коэффициент составил 7,1 мм/^{0}C·сут., для льда - 8,0 мм/^{0}C·сут., а на высоте 3500 м - 6,2 мм/^{0}C·сут.

Для выяснения особенностей режима и эволюции ледников Тянь-Шаня большое значение имеет распределение термических условий по сезонам и анализ эффекта такой сезонности для различных высотных поясов района. Данные о среднегодовом росте сезонной температуры воздуха на метеостанциях бассейна р.Чон-Кызыл-Суу в период 1961-2015 гг. приведены в табл. 4.

Таблица 4. Сезонная температура воздуха (^{0}C/год) на разновысотных метеостанциях бассейна р.Чон-Кызыл-Суу в период 1961-2015 гг.

Сезон	МС Кызыл-Суу 1760 м	МС Чон-Кызыл-Суу 2550 м	МС Кара-Баткак 3300 м
	Повышение температуры, Δt/год, ^{0}C		
Лето	0,022	0,004	0,026
Осень	0,023	0,022	0,018
Зима	0,018	0,017	0,013
Весна	0,015	0,014	0,009
Годовой цикл	0,020	0,014	0,023

Повышение летних температур воздуха в прибережной зоне оз.Иссык-Куль и в нивально-гляциальной зоне значительно больше, чем в лесной зоне (табл. 4), что объясняется транспирационной ролью растительности [27-35].

В нивально-гляциальном поясе бассейна р.Чон-Кызыл-Суу, где аккумулируются значительные по массе ледово-водные ресурсы, температура воздуха в летний сезон в период 1961-2017 гг. повысилась на 1,4 ^{0}C, в зимний и весенний сезоны - на 0,7 и 0,5 ^{0}C, соответственно. В лесном поясе прирост температуры воздуха осенью составил 1,2 ^{0}C, в зимний и весенний сезоны - 0,7-0,9 ^{0}C, в летний сезон - 0,2 ^{0}C. В степной

прибрежной зоне озера Иссык-Куль значительный прирост температуры воздуха произошел в осенний, летний и весенний сезоны (1,2, 1,2 и 0,8 ^{0}C, соответственно) за 54 года.

Для ледника Кара-Баткак осредненная температура воздуха сезона абляции (VI-VIII) в 1961-1968 гг. составила +3,3 ^{0}C, а в 2013-2019 гг. +5,5 ^{0}C, что на 2,2 ^{0}C больше. Среднегодовая температура на леднике в 1961-1968 гг. составила -3,9 ^{0}C, в 2013-2018 гг. -3,0 ^{0}C, т.е. стало теплее на 0,9 ^{0}C, что подтверждает тенденцию к потеплению нивально-гляциальной зоны Тянь-Шаня.

На рис. 13 приведен ход среднесуточной температуры воздуха по показаниям недельного термографа на леднике Кара-Баткак в абляционный период 2014-2017 гг. При месячном осреднении наиболее высокой была температура в июле, августе 2015 и 2017 гг. и в сентябре 2013 и 2016 гг., что обусловило высокий сток р.Кашка-Тор в эти месяцы. За период абляции в целом наиболее высокая положительная температура воздуха была зарегистрирована в 2017 г. (+5,6 ^{0}C), далее идут 2015 г. (+5,4 ^{0}C), 2014 г. (+4,8 ^{0}C) и 2016 г. (+4,5 ^{0}C). Анализ температурного режима показал, что средняя температура тёплых сезонов анализируемого периода была выше многолетних значений 4,2 ^{0}C.

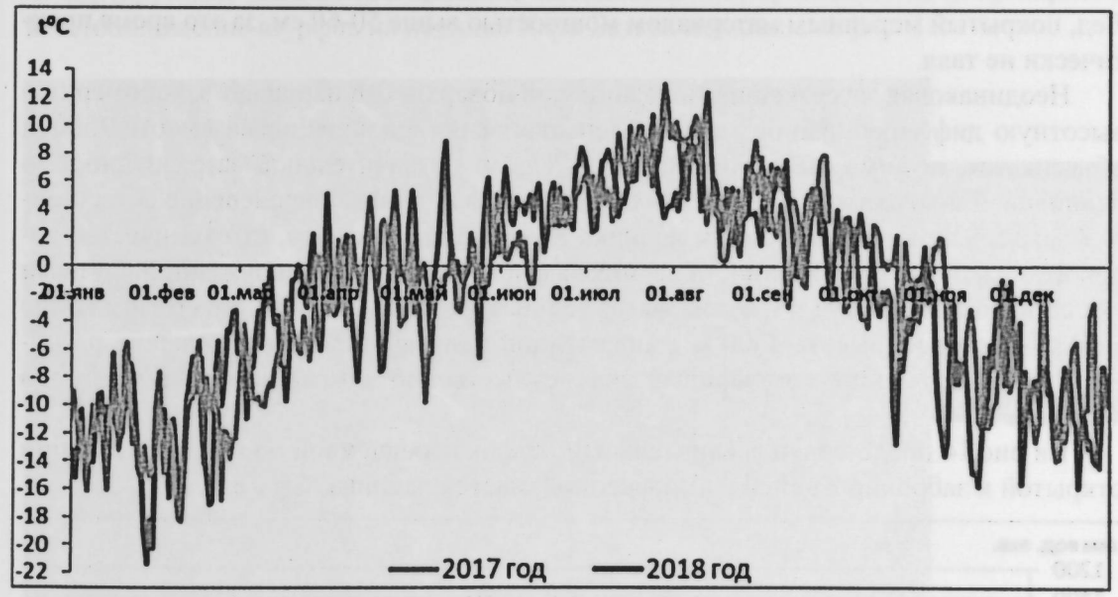


Рис.13. Среднесуточная температура воздуха на леднике Кара-Баткак в период абляции 2017-2018 гг.

Абляция льда зависит не только от солнечной радиации, но и наличием на поверхности ледника чехла морены различного механического состава и мощности.

Зависимость таяния ледников от загрязненности их поверхности обломочным литогенным материалом поверхностной морены изучалась в Центральном Тянь-Шане Г.А.Авсюком [1953], А.Н.Диких [2000], Л.Д.Долгушиным [1965], а в Джунгарском и Заилийском Ала-Тоо - Н.Н. Пальговым [1946]. По данным В.Е.Сочеванова [1936], щебень на поверхности ледников поглощает в 2,1-2,4 раза больше солнечной радиации, чем чистый глетчерный лед. Загрязненный лед плохо пропускает лучи и стаивает в основном с поверхности.

Однако по мере того, как толщина моренного чехла возрастает и превосходит 2-7 см (вариация этого критического порога зависит от петрографии и гранулометрического состава поверхностной морены, а также плотности её упаковки), эффект меняется на противоположный. При сплошном покрытии льда моренным материалом его таяние постепенно уменьшается с возрастанием мощности моренного покрова вплоть до полного прекращения таяния [22-25]. Это объясняется тем, что наличие поверхностной морены на леднике способствует изменению структуры радиационного баланса: уменьшается альбедо, что приводит к росту поглощенной солнечной радиации; нагретые частицы морены излучают длинноволнового тепла больше, чем чистый лед. При увеличении степени замороженности до определенного предела радиационный баланс поверхности льда возрастает, что вызывает усиление стаивания подморенного льда. Когда же моренный покров становится сплошным и достаточно мощным, существенная часть радиационного баланса затрачивается на нагревание моренного материала и таким образом не доходит до льда.

Проведенные исследования показали, что лед на конце языка ледника Кара-Баткак, покрытый слоем поверхностной морены мощностью (толщиной) 10-12 см, стаял за шесть дней всего на 17-19 см, а слегка загрязненный эоловым мелкоземом за тот же период - на 34-41 см. С увеличением мощности морены таяние резко ослабляется. Лед, покрытый моренным материалом мощностью выше 50-60 см, за это время практически не таял.

Неодинаковая загрязненность ледниковой поверхности нарушает закономерную высотную дифференциацию таяния. Меньшая величина абляции на высоте 3500 м объясняется, помимо высотного эффекта, ещё и незначительной загрязненностью ледниковой поверхности мелкозёмом в этой части ледника. Определение естественной загрязненности поверхности ледника Кара-Баткак показало, что количество эолового мелкозема на поверхности ледника в фирновой области, окружённой крутыми скалами, составляет 191,4 г/м², на высоте 3500 м – только 27,4 г/м², а на самом конце языка ледника на высоте 3300 м концентрация мельчайших литологических разностей на поверхности глетчерного льда существенно возрастает и доходит до 462,7 г/м².

На рис.14 представлен сравнительный график осредненной по месяцам абляции открытой и забронированной (замороженной) частей ледника Кара-Баткак.

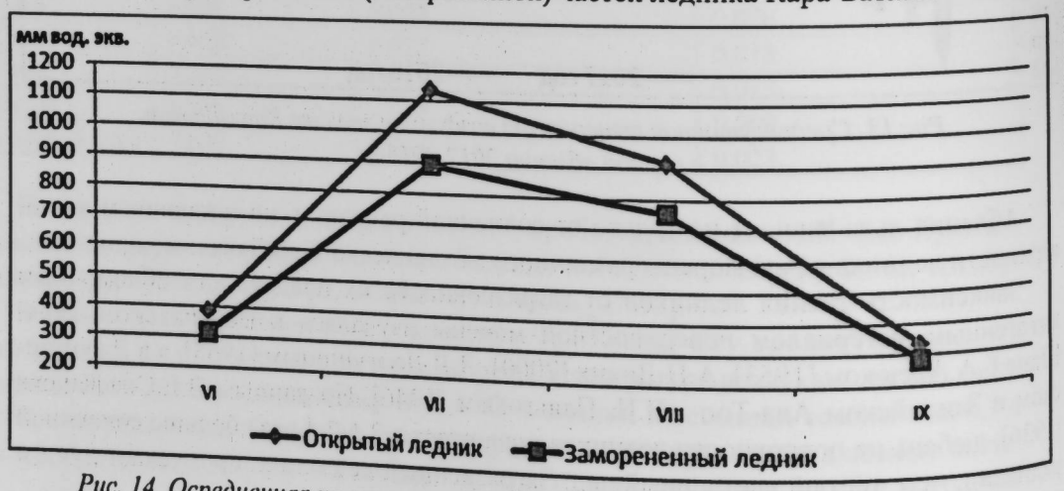


Рис. 14. Осредненная по месяцам за 2013-2017 гг. абляция ледника Кара-Баткак

На любом леднике интенсивность таяния при прочих равных условиях является функцией высоты, если только сильно влияющие на подморенное таяние различия в мощности морены разных высотных поясов не перекроют эту закономерность. На рис. 14 этот высотный эффект в виде обратно пропорциональной зависимости прекрасно прослеживается для абляции как открытого, так и подморенного льда. Отсюда следует, что при достаточно большой мощности моренного покрова (выше порога таяния) вне зависимости от разнящейся его мощности до площади ледника эффект ослабления таяния льда от наличия на нем моренного покрова относительно одинаков в разных частях языка и не может исказить качественный характер базовой высотной закономерности.

Для получения информации о влиянии моренного покрова на абляцию льда ледника Кара-Баткак были проведены работы по определению толщины замороженных участков ледника Кара-Баткак и их влияния на таяние льда. Толщина поверхностной морены ледника в местах обследования определялась как визуально, так и с помощью выкапывания шурфов в характерных точках забронированных участков этого ледника с целью составления карты толщины замороженных участков ледника и его влияния на ледниковый сток. На рис. 15 четко виден вскрытый чистый лед под толщей моренного чехла (крупным планом это показано на заставке в правом верхнем углу снимка). Местоположение шурфов на леднике Кара-Баткак показаны на рис. 16.



Рис. 15. Измерение толщины моренного чехла на забронированном участке ледника. В точке измерения толщина моренного чехла составила 70 см.

На правом борту ледника на месте шурфов на высоте от 3300 до 3400 м установлены абляционные рейки, чтобы сравнить абляцию чистого и замороженных участков ледника. Определение толщины поверхностой морены на левом борту забронированного ледника делалось экстраполятивно, исходя из результатов правого борта. По результатам полученных данных составлена карта толщины замороженного участка ледника Кара-Баткак (рис. 17).

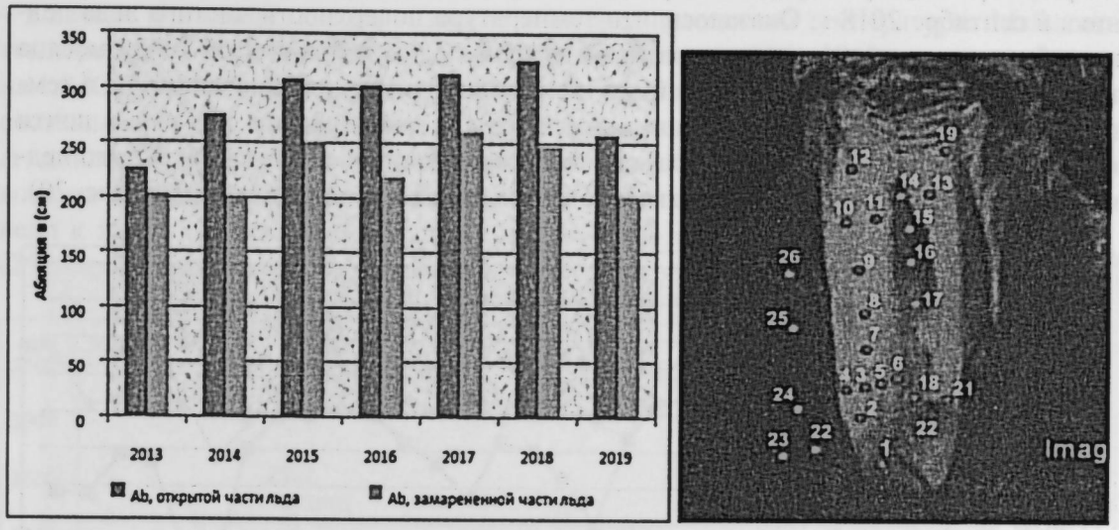


Рис. 16. Места горных выработок для шурфов на леднике Кара-Баткак



Рис. 17. Толщина моренного чехла на замороженных участках ледника Кара-Баткак (показана тональностью желтого и коричневого цветов)

Для сравнения скорости таяния льда на открытых и замороженных участках ледника с толщиной морены от 2 до 9 см представлены гистограммы на рис. 18.



а *б*

Рис. 18. Суммарная абляция замороженых (толщина морены 2-10 см) и открытых участков ледника Кара-Баткак в период 2013-2019 гг.(а). На схеме (б) красные точки - рейки, установленные на открытых участках ледника, синие - на замороженных участках

В период с 2013 по 2019 гг. абляция на открытых участках ледника оказалась в среднем на 21% больше, чем на замороженных участках. С учетом данных, полученных ранее, можно сделать вывод, что при толщине моренного слоя более 9 см абляция значительно замедляется; при толщине моренного слоя, не превышающем 5 см, таяние идет более интенсивно, чем на открытой части ледника или в местах с очень незначительным загрязнением эоловым мелкоземом (рис.19). Это связано с тем, что при ясной солнечной погоде тонкий моренный слой на поверхности ледника нагревается, и благодаря этому усиливается таяние льда.

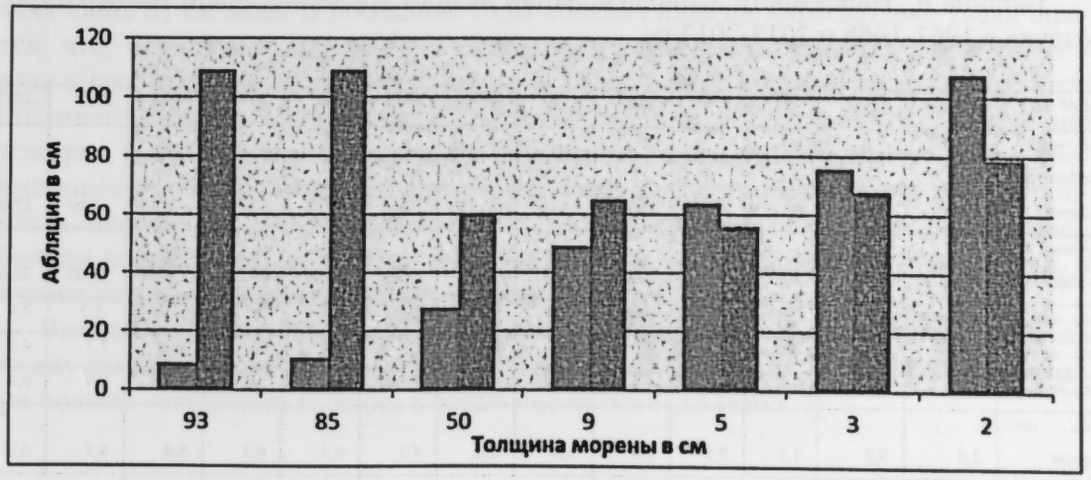


Рис. 19. Сравнительная суммарная абляция льда на забронированных и открытых участках ледника (в период с 06.08.17 по 28.09.17 г.). Синим цветом показана абляция на открытых участках ледника, зеленым цветом - на замороженных участках ледника

Абляция полностью прекращается при толщине моренного слоя более одного метра. На рис. 20 приведена температура поверхности чистого и замореженного ледника в сентябре 2018 г. Оказалось, что температура поверхности чистого льда ледника была тесно связана с температурой воздуха. С 12 сентября и до конца месяца температура поверхности ледника была почти исключительно отрицательной, а температура льда под моренным чехлом при его толщине около 4-5 см оставалась почти всегда положительной. Таким образом, после прекращения абляции открытого ледника абляция замореженного участка еще продолжалась до конца сентября (рис. 20).

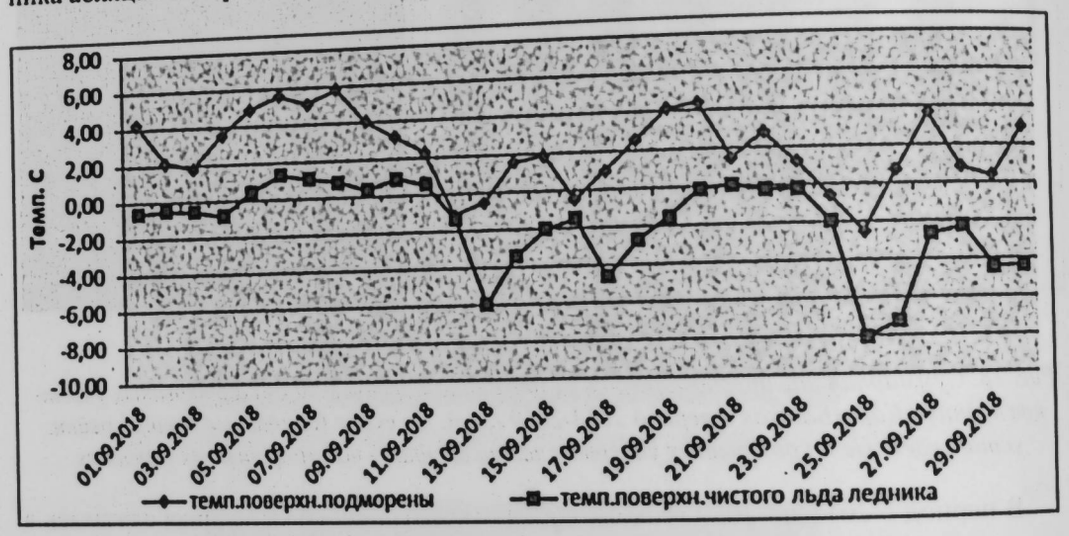


Рис. 20. Среднесуточная температура поверхности чистого льда и льда под моренным чехлом в сентябре 2018 г.

Одним из важнейших вопросов является определение продолжительности периода абляции, т.е. выяснение дат начала и окончания периода таяния. А.Н.Диких [21] определял начало периода абляции льда по среднемесячным майским температурам, от которых, как правило, зависит динамика схода снега (табл.6).

Таблица 6. Зависимость периода абляции льда от среднемесячной температуры воздуха в 1961-1968 и 2013-2017 гг.

Год	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	2013	2014	2015	2016	2017
Начало абляции, дата	10.06	28.06	02.07	20.07	20.06	18.06	03.07	19.06	21.06	17.06	17.06	17.06	15.06
Конец абляции	20.09	8.09	20.09	1.09	28.08	15.09	30.08	29.08	19.09	29.09	22.09	29.09	28.09
$t_{ф}$ май	2,6	0,7	0,9	-0,7	0,8	-1,0	0,4	0,4	1,1	2,3	1,3	-1,5	3,4
$t_{ф}$ июнь	0,9	3,3	-0,5	3,3	3,3	3,0	3,1	3,1	5,4	3,3	4,4	3,7	4,5
$t_{ф}$ июль	3,3	3,2	0,9	4,0	4,9	2,5	4,6	5,1	3,6	6,8	8,9	5,4	8,4
$t_{ф}$ август	2,5	3,2	1,2	2,8	4,4	4,8	3,8	4,7	9,1	6,3	6,4	4,7	6,0
$t_{ф}$ сентябрь	2,0	2,8	1,1	0,8	1,3	2,5	2,8	2,0	4,6	2,7	1,7	4,1	3,6

На леднике Кара-Баткак переход среднемесячной температуры через 0^0C в сторону повышения обычно происходит в мае, и от того, когда произойдет этот переход – в начале или конце месяца, - зависит знак среднемесячной температуры. Майские температуры в 2013-2017 гг. были на 0,9 ^{0}C выше, чем в 1961-1968 гг., а июньские - на 1,8 ^{0}C [16]. Средняя температура воздуха в период абляции (VI-IX) в 1961-1968 гг. составила 2,8 ^{0}C, а в 2013-2018 гг. 5,0 ^{0}C. В среднем период абляции льда в 1961-1968 гг. длился 73 дня [16], а в 2013-2018 гг. - 100 дней. Значительный рост температуры воздуха и увеличение продолжительности периода абляции за последние 5 лет привели к тому, что величина абляции льда на Кара-Баткаке (рис. 21) в 2008-2017 гг. (2580 мм вод.экв.) оказалась в среднем на 62 % больше, чем в 1956-1968 гг. (1590 мм).

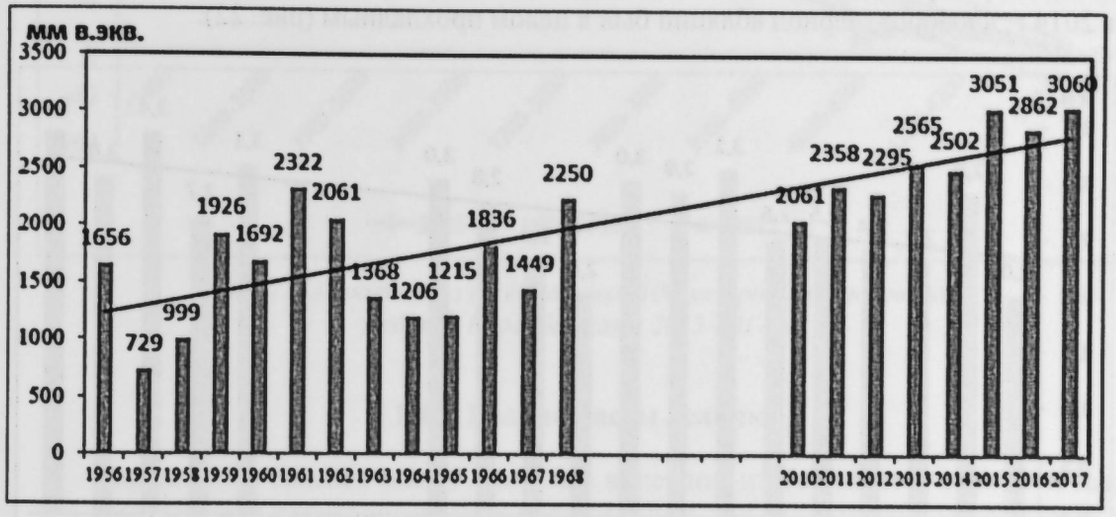


Рис. 21. Абляция ледника Кара-Баткак (3300-3500 м) в периоды 1956-1968 и 2010-2017 гг.

За весь период наблюдений языковый части ледника максимальное таяние льда наблюдалось в 2017 г. – стаял слой 341 см при продолжительности периода абляции льда в 106 дней. Наиболее короткий период абляции в 28 дней был в 1957 г., когда стаял лишь 81 см льда. В последние годы абляция льда на Кара-Баткаке увеличивается, что, безусловно, может быть следствием повышения температуры воздуха в связи с глобальным потеплением (рис. 21). Такая климатическая тенденция летнего и осеннего сезонов в нивально-гляциальном поясе может привести к увеличению стока рек, к изменению баланса массы ледников и к смене соотношения между генетическими составляющими речного стока. Необходимо отметить, что в табл. 6 приведены данные продолжительности лишь периода абляции льда. Истинный период абляции ледника дольше, поскольку в это понятие входит ещё и начальный этап, в течение которого на леднике тает сезонный снег.

Важной особенностью расходного компонента баланса массы является характер его внутригодового распределения: период абляции сжимается в рамках 3-4 месяцев при полном отсутствии абляции в остальное время года (табл. 7).

Таблица 7. Средняя абляция (мм вод.экв.) по месяцам за 1949-1968 [Диких, 1976] и 2008-2017 гг.

Год	Месяц				Сумма
	VI	VII	VIII	IX	
1949-1968	82	656	690	218	1646
2008-2019	380	1128	1017	316	2860

Вариация годовой абляции льда весьма значительная: в 2013 г. она составила 2565, в 2014 г – 2502, в 2015 г. – 3051, в 2016 г - 2862 и в 2017 г - 3060 мм вод.экв. Большой разброс значений связан с тем, что в 2015 г июль был аномально жарким, а в 2014 г, наоборот, период абляции был в целом прохладным (рис. 22).

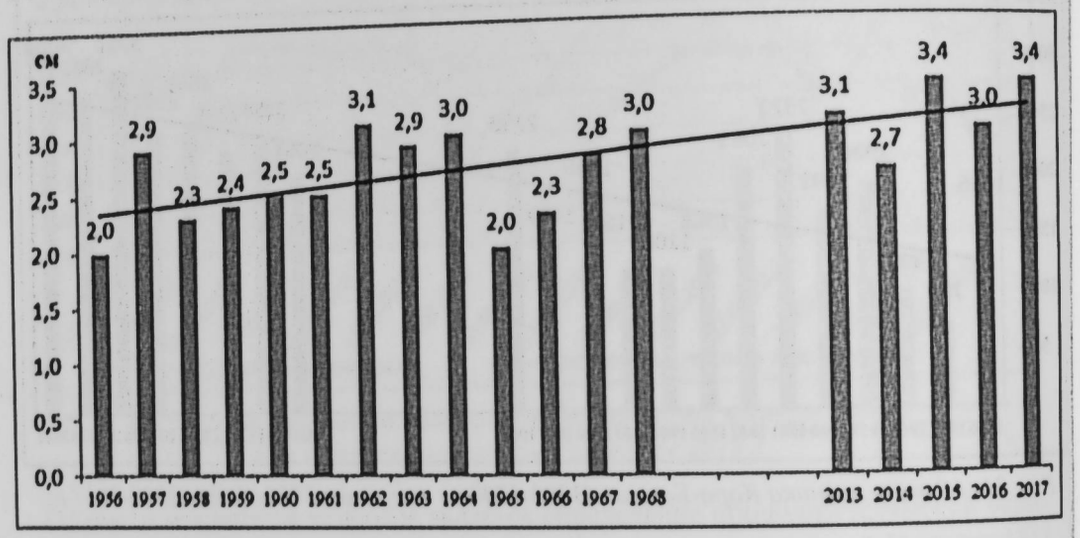


Рис. 22. Среднесуточное стаивание на языке ледника в 1956-1968 гг. [12] и 2013-2017 гг.

Среднесуточное стаивание льда на языке Кара-Баткака (рис.22) в 1956 – 1968 гг. составило 2,5 см [17], что соответствует 22,9 мм вод.экв./сут, а в 2013-2017 гг. - 3,2 см, или 28,8 мм вод.экв./сут., т.е. на 20 % больше. Это объясняется тем, что в 1956-1968 гг. среднегодовая температура воздуха составляла -3,8 ^{0}C, в период абляции - +2,5 ^{0}C, продолжительность абляции равнялась 72 дням, в то время как в 2013-2017 гг. эти величины принимали соответственно значения -2,6 ^{0}C, +3,1 ^{0}C и 100 дней.

График изменения абляции с высотой (рис.23) в 2015-2017 гг. выявляет значительные вариации вертикальных градиентов, что обусловлено различиями в фазах выпадающих летних осадков по высотным зонам: в то время как в нижних частях ледника идёт дождь, усиливающий абляцию, в верхних - отлагается снег, парализующий таяние (рис. 23). Граница раздела фаз может совпадать с любой изогипсой в соответствии с погодной спецификой, поэтому свойства подобия высотных абляционных кривых могут нарушаться в любых гипсометрических поясах.

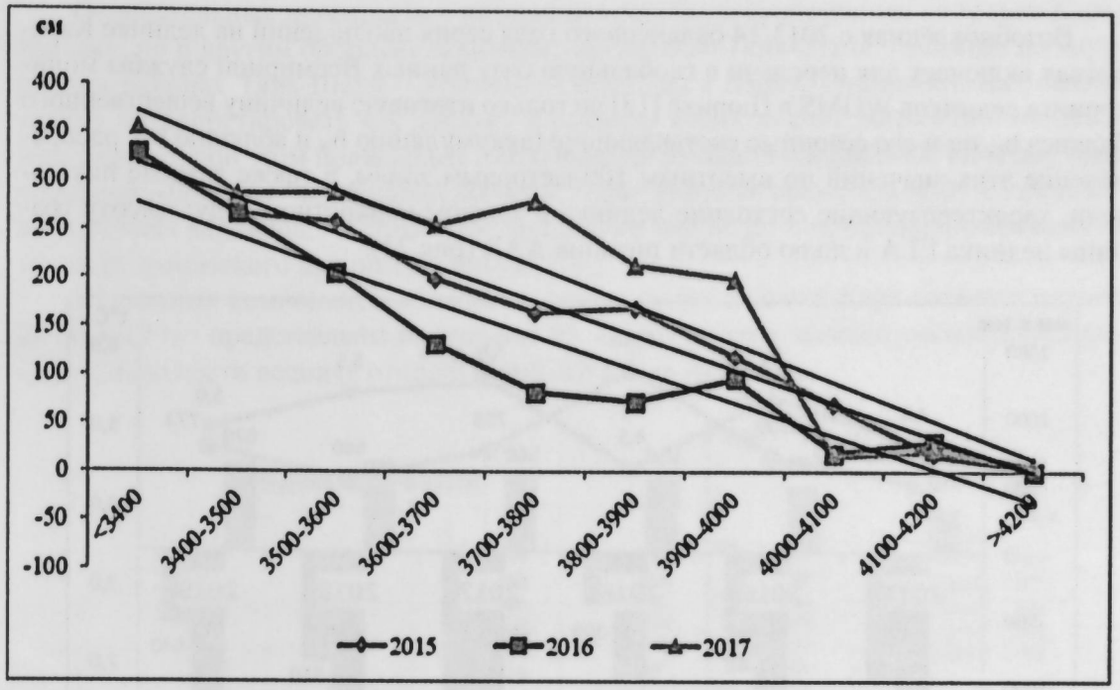


Рис. 23. Абляция льда по высотным 100-метровым интервалам ледника Кара-Баткак в 2015-2017 гг.

1.4.4. Баланс массы ледника

Определение баланса массы ледника в конечном итоге является основной задачей комплексных гляциологических исследований, так как появляется возможность прогнозировать динамику оледенения на ближайшее будущее. Баланс слагается из прихода твердого вещества, куда входят твердые осадки, метелевый перенос снега, конденсация водяных паров, и расхода, основную часть которого составляет таяние ледниковой поверхности и испарение. Накопление твердого вещества тесно связано с процессом льдообразования. Обоснование выделения типов льдообразования и процессов, происходящих при этом, дано Г.А.Авсюком [40]. В дальнейшем, опираясь на материалы исследований, полученных в период Международного гидрорлогического года, более детальную классификацию зон льдообразования дали Е.Н. Цыкин [1962] и П.А.Шумский [1955].

Методика масс-балансовых расчетов в 1950-1990х гг. отличалась от современной. Аккумуляция подсчитывалась только для фирновой области. Абляция рассчитывалась для всей поверхности ледника, суммарное поступление осадков в фирновую область рассчитывалось по осадкам, выпавшим на языке ледника. При этом вводились поправки на изменение количества осадков с высотой. При определении баланса массы ледника за основу расхода принимались данные по стоку со всей поверхности ледника. Принципиальная расчётная схема тяготела к подходу «чистая аккумуляция – чистая абляция» стратиграфической отчётной системы. После возобновления масс-балансового мониторинга в 2013/14 г. предпочтение было отдано подходу «зимний баланс – летний баланс» той же стратиграфической системы.

Возобновлённая с 2013/14 балансового года серия наблюдений на леднике Кара-Баткак включает для передачи в глобальную базу данных Всемирной службы мониторинга ледников WGMS в Цюрихе [18] 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 ледника ELA и долю области питания AAR (рис.24).

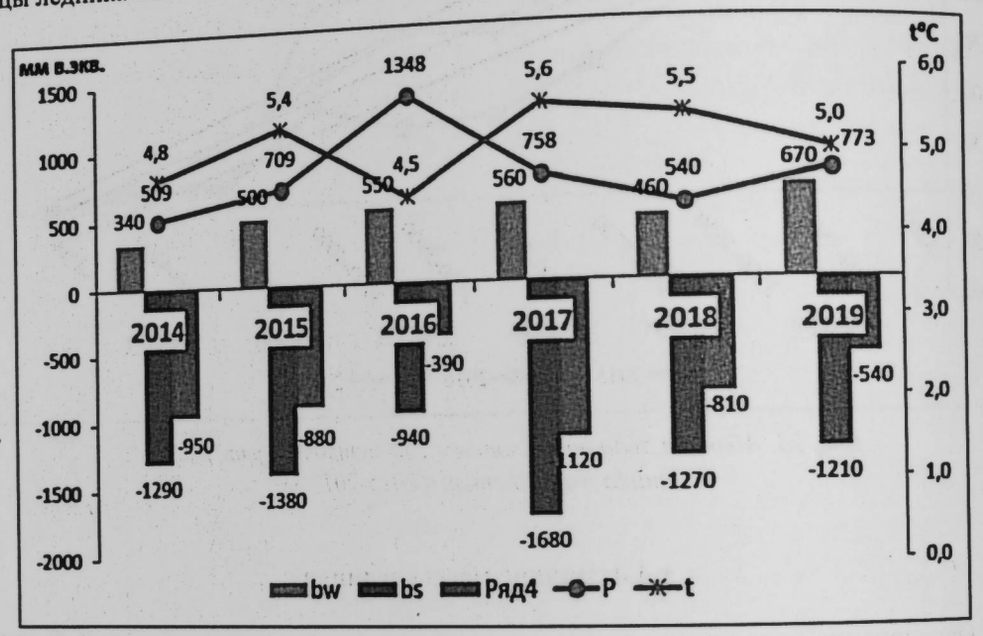


Рис. 24. Сумма осадков за балансовый год (P, мм), температура воздуха (t) за период абляции, величины аккумуляции (b_w), абляции (b_s) и баланс массы (b_n) ледника Кара-Баткак за 2013/14 – 2018/19 гг.

В результате проведенных исследований установлено, что ежегодно баланс массы ледника Кара-Баткак принимал отрицательные значения (рис.24). Наиболее отрицательным (-1120 мм вод.экв.) за 5 лет наблюдений он был в 2016/17 балансовом году, что связано с аномально теплым и продолжительным летним периодом 2017 г.; максимум баланса по модулю был предопределён соответствующим экстремумом расходного компонента b_s (-1680 мм). Наоборот, в 2015/16 балансовом году при относительно близкой к среднемноголетней температуре воздуха (4,5 ^{0}C), аномально большом количестве осадков (1348 мм вод.экв.) и продолжительном периоде абляции (105 дн.) баланс массы ледника Кара-Баткак принял значение -390 мм вод. экв., что явилось противоположной балансовой крайностью (годом с наименьшим по модулю вещественным балансом), т.е. относительно самым благоприятным состоянием ледника за 5 лет. В среднем за этот период баланс принял значение b_n= -830 мм вод.экв. при составляющих b_w= 480 мм и b_s= -1310 мм.

Баланс массы ледника Кара-Баткак тесно коррелирует с детерминирующими метеопараметрами - температурой воздуха и атмосферными осадками. В годы наибольшего отрицательного баланса (2014/15 и 2016/17 гг.) на языке ледника было меньше осадков при повышенной среднемесячной температуре воздуха в абляционный период.

Отрицательные значения b_n в последние годы были свойственны не только Кара-Баткаку, но и другим опорным ледникам киргизского Тянь-Шаня, лежащим во внутренних районах Тянь-Шаня – ледникам Сары-Тор и Борду. 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. Это положение очевидно и продемонстрировано на примере кавказского ледника Джанкуат [19].

Отдельные компоненты абляции и аккумуляции ледника Кара-Баткак в период 2014-2019 гг. представлены на рисунке 25. В этот период заметно уменьшилась высота поверхности ледника относительно его языка (рис. 26).

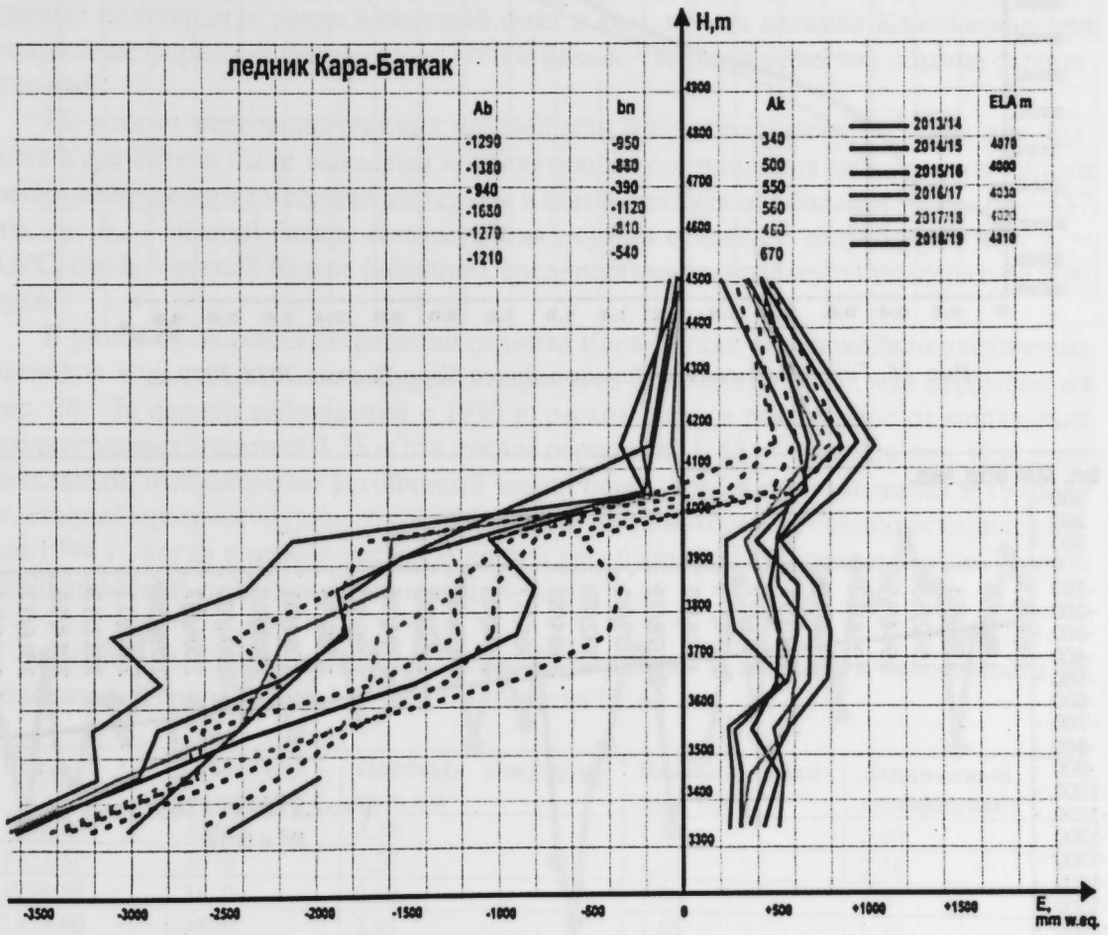


Рис. 25. Компоненты баланса массы ледника Кара-Баткак в 2014-2019 гг.

Полный ряд годовых значений баланса массы ледника Кара-Баткак с реконструкцией прерванных наблюдений в 1998/99-2012/13 балансовых годах представлен на рис.27.

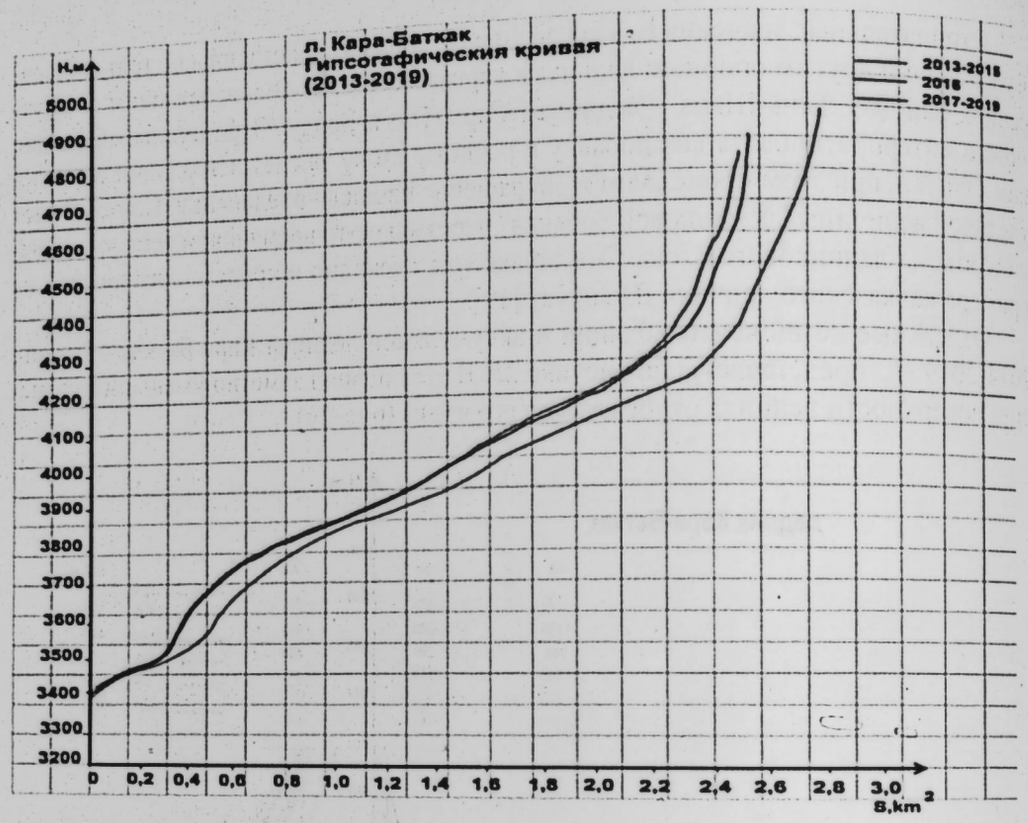


Рис. 26. Гипсографическая кривая ледника Кара-Баткак 2014-2019 гг.

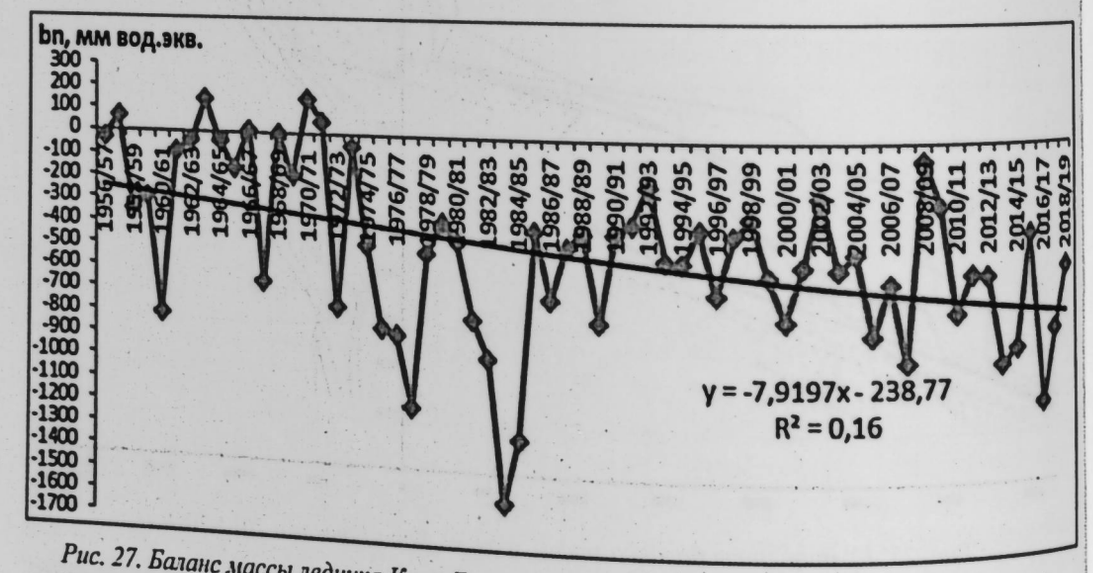


Рис. 27. Баланс массы ледника Кара-Баткак за 1957-2019 гг.: фактические измерения 1956/57-1997/98 и 2013/14-2018/19; результаты реконструкции 1998/99-2012/13 балансовые годы

За 63-летний период баланс массы отрицателен почти на 86 млн.м³, что в слое стока со всей поверхности ледника составляет 28870 мм. Во всей серии измерений

положительный баланс ледника отмечен только в 5 сезонах: 1957/58, 1963/64, 1966/67, 1970/71 и 1971/72 гг.

Надёжным индикатором годового баланса массы ледника служит положение фирновой линии (границы питания ELA): чем оно гипсометрически ниже, тем более благоприятны для ледника были климатические условия - значит, возрастала снежность и уменьшалось таяние, создавая в свою очередь предпосылки к положительному бюджету. Наглядно иллюстрирует эту закономерность ледниковый коэффициент, т.е. отношение между площадями аккумуляции и абляции (табл. 9). По своей функциональной роли этот показатель эквивалентен параметру AAR (доле области питания), принятому в WGMS и во всей зарубежной гляциологии. Полученные нами данные подтвердили ранее известный факт о том, что на леднике Кара-Баткак при положении фирновой линии выше 3750 м баланс твердого вещества обычно отрицательный.

По итогам метеорологических наблюдений и произведённых расчётов для ледника Кара-Баткак были выведены коррелятивные соотношения между важнейшими детерминирующими метеопоказателями и компонентами его баланса массы $b_w = 457$ мм, где b_w – зимний баланс (аккумуляция), сумма осадков с сентября по май; $b_s = 4{,}6^0$C, где b_s – летний баланс (абляция), среднелетняя (июнь-август) температура воздуха.

В унисон ускорения деградации ледника Кара-Баткак происходило увеличение расходов воды р.Чон-Кызыл-Суу на гидропосту "Лесной кордон", что отражено на рис. 28. За период наблюдений с 1930 г. расход воды в реке возрос от модальных среднегодовых значений 4,25 м³/с в начале периода до 6,45 м³/с в наши дни. При этом начальный, относительно устойчивый квазистационарный этап сменился в 1970-ые гг. стадией прогрессирующего роста водности реки, который особенно ускорился после 1994 г., когда в отдельные годы нормы расходов стали достигать 8 м³/с, чего не наблюдалось на протяжении прошедших 90 лет.

Таблица 9. Соотношение площадей аккумуляции и абляции в зависимости от положения фирновой линии (границы питания ELA)

Год	Фирновая линия, м	Площадь аккумуляции, км²	Площадь абляции, км²	Ледниковый коэффициент
1956/57	3610	3,38	1,20	2,80
1957/58	3670	3,27	1,31	2,48
1958/59	3820	2,82	1,76	1,59
1959/60	3800	2,93	1,65	1,76
1960/61	3840	2,71	1,87	1,44
1961/62	3820	2,82	1,76	1,59
1962/63	3750	3,11	1,47	2,10
1963/64	3600	3,38	1,20	2,80
1964/65	3750	3,11	1,47	2,10
1965/66	3800	2,93	1,65	1,76
1966/67	3820	2,82	1,76	1,59
1967/68	3860	2,62	1,96	1,33
2014/15	4070	0,93	1,81	0,51
2015/16	4000	1,04	1,72	0,60
2016/17	4030	0,94	1,53	0,61

В течение всего этого периода кумулята баланса массы Кара-Баткака (рис. 28) была направлена вниз, и он составил 30 000 мм вод.экв. Иными словами, с середины XX века убыль его ледовых ресурсов носила более или менее постоянный характер. Но если, как и в большинстве горных систем Центральной Азии, до конца 1960-х гг. оледенение испытывало потери вещества относительно умеренными темпами, то начиная с 1970-х гг. в режиме ледника наступил резкий перелом, когда в 1973 г. и далее в течение нескольких лет подряд (1977-1980 гг.) регистрировались аномально высокие температуры воздуха.

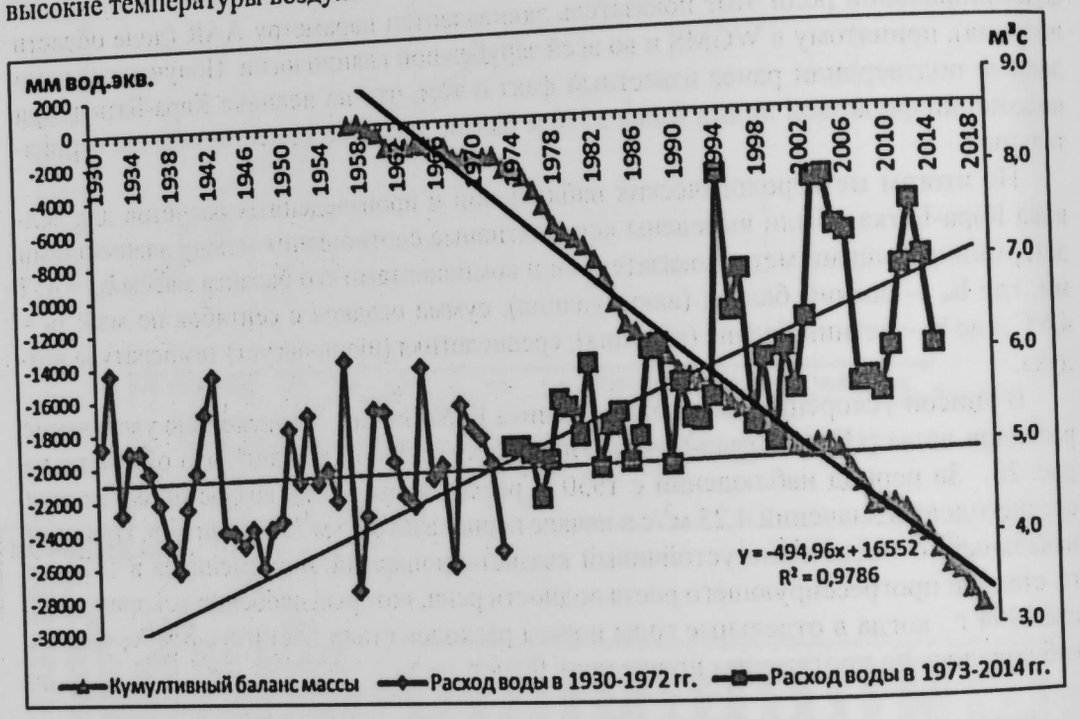


Рис.28. Кумулятивный баланс массы ледника Кара-Баткак и среднегодовые расходы воды в р.Чон-Кызыл-Суу

Именно с этого времени наклон кумулятивной кривой баланса массы ледника резко увеличился, отражая кардинальное ускорение скорости сокращения вековых запасов льда. Аналогичные изменения зафиксированы в режиме ледников Шумского в Джунгарском Алатау, Абрамова в Гиссаро-Алае и Голубина на Тянь-Шане [17].

В унисон ускорения деградации ледника Кара-Баткак происходило увеличение расходов воды р.Чон-Кызыл-Суу на гидропосту "Лесной кордон", что отражено на рисунке 30. В течение всего интервала времени, начиная с 1930 г., расходы воды возросли от модальных среднегодовых значений 4,25 м^3/с в начале периода до 6,45 м^3/с в наши дни. При этом начальный, относительно устойчивый квазистационарный этап сменился в 1970-ые гг. стадией прогрессирующего роста водности реки, который особенно ускорился после 1994 г., когда в отдельные годы нормы расходов стали достигать 8 м^3/с, чего не наблюдалось на протяжении прошедших 90 лет.

В настоящее время ледник Кара-Баткак продолжает сокращаться. На этом фоне кажется странным тот факт, что средние многолетние величины (нормы) стока главных рек Центральной Азии, в том числе Амударьи, Сырдарьи, Или, за последние пол-

века оставались устойчивыми [21-25]. В течение того же периода, несмотря на значимое сокращение годовой аккумуляции снега на ледниках Тянь-Шаня [8], нормы атмосферных осадков и максимальных снегозапасов в зоне формирования стока также оставались сравнительно неизменными [25, 26, 27, 28, 29]. Не изменилось за этот период и внутригодовое распределение стока [30]. Все это дает основание предположить наличие в природе некоего компенсационного механизма.

1.4.5. Колебания фронтальной линии и сокращение ледника

Последнее исторически зафиксированное отступание долинных ледников северного склона хр. Тескей-Ала-Тоо началось в конце малого ледникового периода – в середине XIX века. Это подтверждается многими исследователями, в частности, Соломиной О.Н. [31]. Они находятся в стадии деградации и в настоящее время, т.е. отмечается повсеместное отступание их концов. Крупномасштабные карты, построенные по материалам фототеодолитных съемок 1955-1959 гг., позволяют судить о характере колебаний концов ледников. По данным Р.Д.Забирова [32], ледники бассейнов рек Каракол и Ак-Суу в 1956-1959 гг. в среднем за год отступали на 8-10 м. При этом за счет отступания невосполнимо терялось от 642 тыс.м^3 (ледник Колтор Восточный) до 1493,8 тыс.м^3 льда (ледник Аксуу).

Темпы деградации оледенения различных районов значительно различны. Существенны и временные различия. Так, скорость сокращения площади оледенения массива Ак-Шыйрак в Центральном Тянь-Шане изменялась от 0,12% в год в период 1943-1977 гг. до 0,33% в 1977-2003 гг. [Aizen, et all, 2006]. Минимальными для гор Азии темпами сокращения площади (0,01-0,06% в год) в последние десятилетия XX в. отличалось оледенение Тибетского плато, а максимальными (0,80-0,83% в год) – оледенение северной периферии Тянь-Шаня [21, 24]. В значительной мере это объясняется тем, что на юго-востоке Тибетского плато интенсивность солнечной радиации в зоне абляции ледников составляет лишь 1/6 от теоретически возможной, а конденсация превышает испарение, вследствие чего, интенсивность таяния льда составляет лишь около 3,2 мм/1^{0}С, тогда как в Центральном Тянь-Шане она превышает 12,5 мм/1^{0}С [21, 34]. За период наблюдений 1957-1968 гг. на леднике Кара-Баткак средняя величина стаивания, приходящаяся на 1 положительной температуры, составляет 7 мм [14]. Отчасти это различие объясняется тем, что на леднике Кара-Баткак среднемноголетнее количество осадков составляет 865 мм, в Центральном Тянь-Шане по данным многолетних наблюдений МС Тянь-Шань (3614 м) - 322 мм. Частые летние осадки, подавляющая часть которых в ледниковом диапазоне выпадает в твердом виде, способствуют «консервации ледников», поскольку то удельное таяние, которое приходится на 1^{0}С, затрачивается в большей степени на стаивание летнего снега, существенно снижая тем самым интенсивность чистой абляции льда.

Основательную работу по анализу отступания, наступания и стационарности фронта ледников центрального региона Тянь-Шаня провел М.К.Кошоев [35] сопоставивший данные Каталога ледников СССР [36-38] 1970-х гг. с Каталогом ледников Средней Азии [39] 1930 г. Автор [35] указал на причины трудностей получения достоверных результатов, но, благодаря скрупулезному анализу, сделал вывод о том, что в первой половине XX века изменение ледников указанного региона происходило неоднозначно с преобладанием неярко выраженной тенденции к отступанию. С

начала XX в. до 40-х годов происходило отступание ледников, которое усилилось к концу 50-х годов. С начала 1960-х до середины 1970-х гг. отступание замедлилось, и отмечались периоды короткого временного наступания (1962-1964 и 1974-1977 гг.).

Сравнение карт ледника Кара-Баткак 1947 и 1964 гг. показывает, что конец языка ледника за этот период отступил на 80-100 м (или на 5-6 м ежегодно). Потеря льда за счет сокращения ледника по приблизительным расчетам равна 300 тыс.м³. Однако отступание конца функционально не связано с балансом массы и потому далеко не всегда может служить строгим критерием для суждений о его эволюции. Процесс массообмена между фирновой зоной и областью абляции может происходить совершенно иными темпами, нежели сокращение линейных размеров ледника.

Для определения скорости линейного отступания ледника Кара-Баткак и сокращения его площади за последнее полстолетия проводятся ежегодные GPS-съемки фронтальной линии и используется метод дистанционного зондирования по аэрофото- и космоснимкам. Применены аэрофотоснимки в цифровом формате TIFF высокого разрешения, охватывающие период с 1967 по 1988 г; топографические карты масштаба 1:25000 для восточной части хр. Тескей Ала-Тоо по состоянию на 1977 г.; космические снимки Landsat TM, ETM + Landsat 1-51977, Landsat -5 1990 -2006 г., Landsat-8 2017, Sentinel l-2 2018, Skysat-2018 г. (разрешение космоснимков от 3 до 15 метров/пиксель). Дешифрирование космоснимков ледника с использованием проводилось с помощью программы ArcMap-10. Результаты дешифрирования космоснимков приведены на рисунке 29 и в таблице 10.



Рис. 29. Изменение площади ледника Кара-Баткак в период 1990-2018 гг.

Таблица 10. Изменение площади ледника Кара-Баткак период 1947 по 2018 гг., км²

1967	1978	1990	1996	2017	2018	Сокращение площади в период 1947-2017 гг.
3,2	3,0	2,51	2,46	2,28	2,15	0,23
-	-	0,16	0,16	0,17	0,06	0,01
-	-	0,03	0,02	0,01	0,13	0,01
					0,01	
3,2	**3,0**	**2,7**	**2,6**	**2,5**	**2,4**	**0,8 (-27%)**

Наибольшему сокрашению площади подвергаются нижние зоны, или так называемые языки ледников. Это фиксируется как по уменьшению площади этих участков ледников, так и по отступанию фронтальной линии ледников. Это наглядно показано на примере ледника Кара-Баткак на рисунке 30.

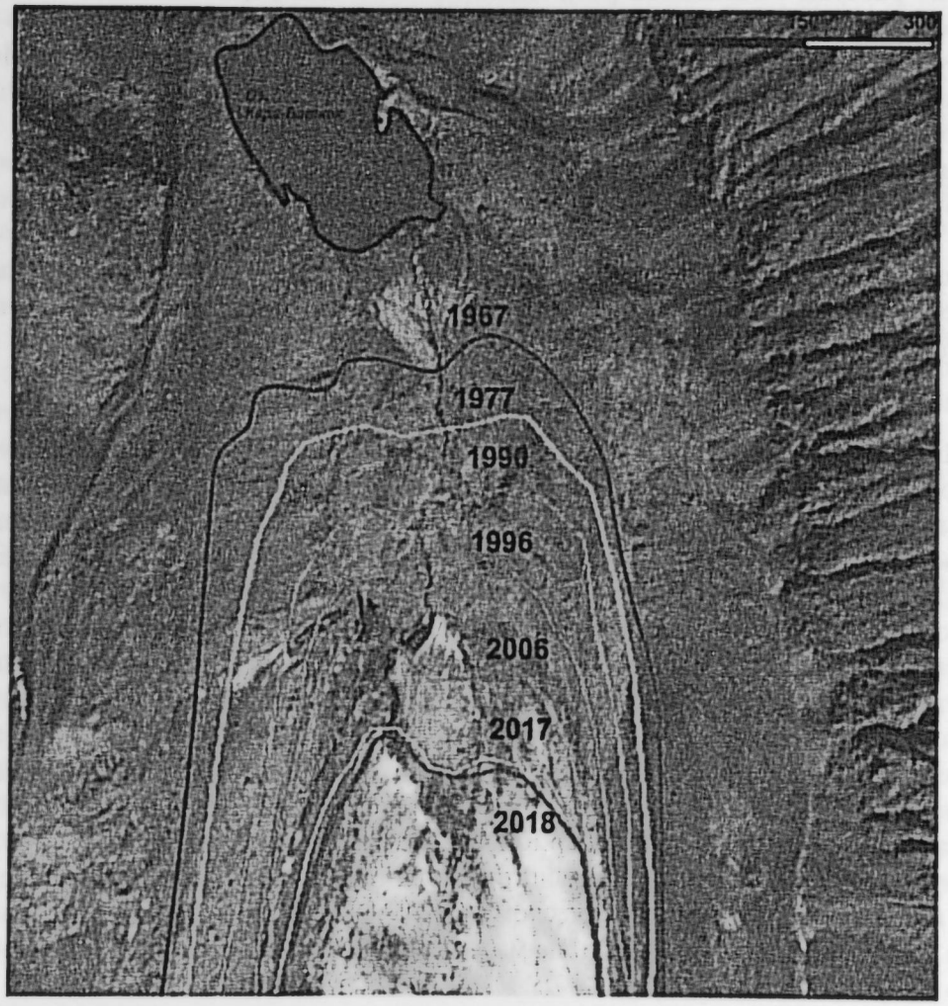


Рис. 30. Линейное отступание языка ледника Кара-Баткак в разные годы (1967-2018 г)

Отступание языка ледника Кара-Баткак в период с 1967-2019 гг. составило 438 м. С 1967 по 1977 гг. ледник отступил на 60 м, т.е. со скоростью 6 м/год. В период 1977-1990 гг. ледник отступил на 73 м, т.е. со скоростью 5,6 м/год; в период 1990-1996 гг. – на 46 м, т.е. 7,3 м/год; в 1996-2006 гг. - на 75 м, 7,5 м/ год; в 2006-2017 гг. на 88 м, 8,0 м/год (рис.30).

Скорость отступания ледника в 2017-2018 гг. тоже составила в среднем 8 м/год, а за 2019 г. GPS съемка показала отступание фронтальной линии ледника на 9 м. Таким обрабзом, ежегодное его отступание увеличилось с 5,6 до 8 м, а площадь ледника Кара-Баткак в период наблюдений 1977-2018гг. сократилась на 0,8 км^2 или на 27 % от общей первоначальной его площади.

1.5. Ледниковый сток

Принято считать, что ледниковая составляющая стока складывается из вод, образовавшихся вследствие поверхностного, внутри- и подледникового стока. Однако, согласно работам Г.А.Авсюка [40], подледниковое и внутриледниковое таяние на ледниках Тянь-Шаня вследствие низких температур отсутствует или ничтожно мало. Поэтому в качестве основного источника формирования стока с ледников Иссык-Кульской котловины нами принято его поверхностное таяние, что и было учтено при расчете ледникового стока.

Для генетического вертикального расчленения гидрографа стока на источники формирования жидкой фазы была заимствована расчётная методика Г.Н.Голубева [1].

По данным двусрочных (8:00 и 16:00) наблюдений за уровнем подсчитывались среднесуточные уровни воды и по зависимости (4) рассчитывались среднесуточные расходы воды ($м^3/с$).

$$Q = f(H) \qquad (4)$$

По расходам воды, среднесуточной температуре воздуха и суточным суммам осадков строился комплексный график, который позволил выделить источники формирования стока – снеговое питание (питание за счет снегозапасов зимнего периода), ледниковое (за счет таяния ледника Кара-Баткак и питание за счет осадков теплого периода (июнь-сентябрь).

Поскольку высотные отметки ледника Кара-Баткак и замыкающего створа на гидрологическом посту Кашка-Тор-исток превышают 3260 м, нулевая изотерма поднимается на эту высоту в конце мая - начале июня, когда и начинается процесс таяния сезонного снега на леднике. С этого времени начинаются наблюдения за уровнем и измерения расходов воды р.Кашк Метод генетического расчленения гидрографа на источники формирования стока заключается в следующем. По климатической классификации по источникам питания р.Кашка-Тор относится к смешанному типу, т.е. в формировании стока участвуют все источники питания – снеговое, ледниковое, дождевое и подземное. По гидрологическому режиму река относится к Тянь-Шанскому типу с двумя ярко выраженными пиками – половодье (июнь-сентябрь) и межень (октябрь- май).

Величина каждого источника питания определена в слое стока (мм) с поверхности (площади) ледника. Среднесуточный расход воды переведен в слой стока по формуле:

$$h = \frac{Q * T}{F * 10^3}, \qquad (5)$$

где, Q - среднесуточный расход воды, м^3/с; Т- число секунд в расчетном периоде; F – площадь водосбора, км^2.

Рассчитанный слой стока по среднесуточным расходам воды затем просуммирован за период снегового половодья, ледникового – июль-сентябрь. Дождевое питание определено как сумма всех осадков, выпавших на поверхность ледника за период июнь-сентябрь Кашка-Тор (рис. 31). По данным измеренных расходов воды строится и периодически обновляется кривая зависимости расходов воды от уровня. По данным регистратора уровня воды OTT Orpheus Mini (логгера) были подсчитаны среднесуточные уровни воды, далее, используя программу Hydroaccess, были рассчитаны среднесуточные расходы воды в 2016-2018 гг. и вычерчены гидрографы стока. Гидрографы служат основным средством информации для суждений о генезисе источников формирования стока р.Кашка-Тор и для расчёта каждой генетической составляющей стока: снеговой (осадки холодного периода), ледниковой, дождевой (осадки теплого периода). Сток талых ледниковых вод зависит не только от запасов снега, накопившихся в бассейне за холодный период, что характерно для сезонно-снеговой составляющей, но и от притока тепла к поверхности льда в летнее время, т.е. от термического режима периода абляции.

За основную характеристику расчета величины таяния взят слой стока. Слой стока *h* (мм) - количество воды, стекающей с водосбора за какой-либо интервал времени (в данном случае за июнь-сентябрь месяцы), равное толщине слоя, равномерно распределенного по площади водосбора [Овчаров, 1986]. При расчете слоя стока снегового и дождевого питания учитывалась вся площадь водосбора - 7,53 км^2, а при расчете ледникового стока – только площадь ледника без забронированной его части – 2,5 км^2.

Среднегодовой сток с ледникового бассейна Кара-Баткак за 1957-1968 гг. по результатам гидрометрических измерений на створе Кашка-Тор-исток составил 5345 мм [16]. Он формировался из следующих компонентов:

от таяния льда на ледниковых языках - 1660 мм;

от таяния льда под боковыми моренами - 415 мм;

от таяния атмосферных осадков с той же площади - 886 мм;

от таяния снега и фирна на фирновых полях - 708 мм;

от таяния атмосферных осадков на склонах ледникового бассейна - 760 мм; от руслового стока в створе - 916 мм.

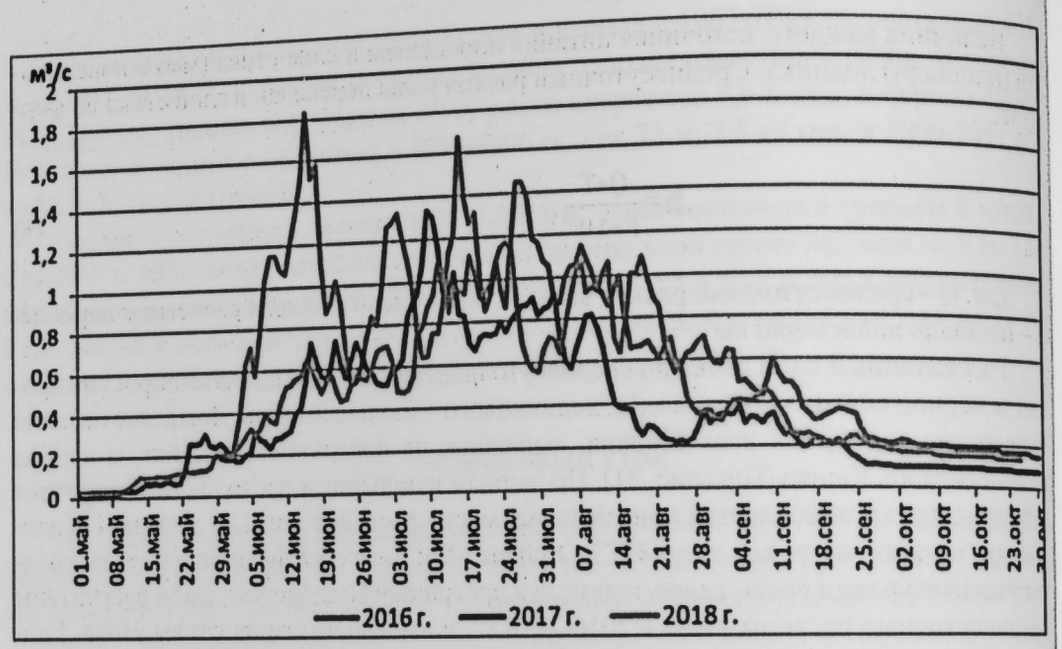


Рис. 31. Среднесуточные расходы воды р.Кашка-Тор в период с 2013 по 2017 гг. по результатам ежедневных наблюдений за уровнем и расходом воды

Оказалось, что генетические составляющие стока р.Кашка-Тор за 2013-2017 гг. колеблются в значительных пределах: сезонная снеговая - от 25% до 40% (среднее многолетнее - 31%); ледниковая - от 52% до 72% (при среднем - 64%); дождевая - от 3% до 8% (при среднем - 5%). По расчётам А.Н.Диких в 1963-1968 гг. доли этих составляющих в среднем равнялись: снеговая - 45%; ледниковая – 50%; дождевая – 5% [Диких, Михайлова, 1976]. Отсюда следует, что за истекший период времени доля снегового питания уменьшилась, ледникового – возросла, а дождевого – осталась неизменной.

По данным снегомерных наблюдений на леднике Кара-Баткак в период 2013-2018 гг. max запас воды в снеге составил 470 мм в.э. в зоне абляции ледника и 801 мм в.э. в зоне аккумуляции, при среднем значении 512 мм в.экв. Если принять испарение со снега, которое определено расчетным методом как 19% от суммарных снегозапасов, то запасы воды в сезонном снеге составили 415 мм в.экв., умноженные на площадь ледника (2,5 км^2), и эта величина составила 1 037 500 м^3.

В среднем за период 2013-2018 гг. сток с ледникового бассейна р.Кашка-Тор-исток составил 7375 мм, так что добавка в сток по сравнению с 1957-1968 гг. составила 2030 мм. Среднегодовой расход воды у истока р.Кашка-Тор увеличился между сравниваемыми периодами с 0,22 до 0,33 м^3/с (рис. 32), водность реки возросла на 50%.

Ожидания увеличения стока на современном этапе развития оледенения вполне логичны: потепление климата обеспечивает относительно больший слой таяния снега и льда и, соответственно, больший объем талого стока. Но на каком-то этапе неминуемо должна произойти смена знака процесса. Убыль ледникового стока вследствие сокращения площади ледника может превысить прибавку за счет увеличения слоя таяния.

Выявленная тенденция дает основание предположить наличие в природе некоего компенсационного механизма. Таким механизмом может быть все большее (по мере

потепления климата) участие в формировании речного стока талых вод погребенных льдов. Следует учесть, что доля талых вод погребенных льдов в речном стоке по мере деградации оледенения увеличивается, поскольку все большая часть открытой ледниковой поверхности переходит в состояние погребенной. Поэтому оценка запасов льда на замороженных и забронированных ледниках является актуальной в ближайшей перспективе.

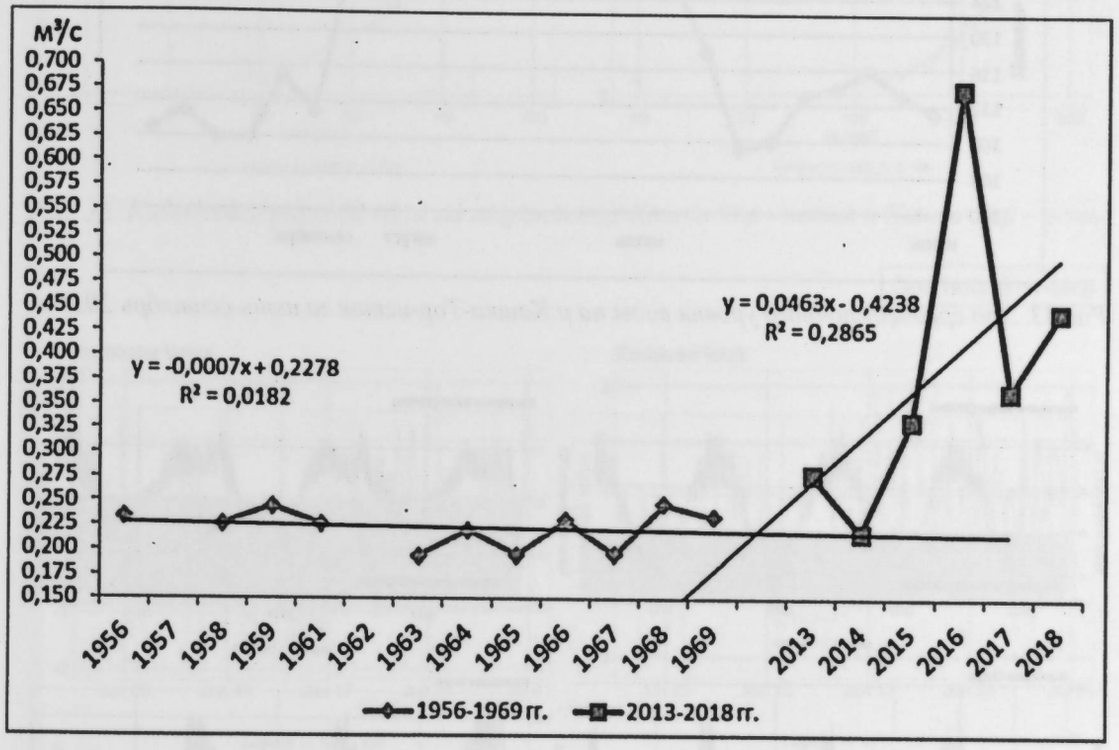


Рис. 32. Годовые расходы воды на створе Кашка-Тор-исток за 1956-1969 и 2013-2017 гг.

В 2019 г. на леднике Кара-Баткак были продолжены гидрологические наблюдения на гидростворе Кашка-Тор-исток (3260 м) с применением автоматического датчика уровня (логгера) и периодическими контрольными измерениями уровня по сваям и скорости воды.

На рис. 33 показан ход уровня р.Кашка-Тор-исток в период наблюдений 2019 г.

Максимальные уровни воды на гидропосту Кашка-Тор-исток и Кашка-Тор-устье приходятся на конец августа. Ход уровня тесно и синхронно связан с ходом температуры воздуха (рис.34).

В период таяния (абляции) ледника колебания уровня довольно значительные, отмечено несколько подъёмов уровня и спада, которые довольно синхронны с ходом температуры воздуха и находятся в противофазе с выпадающими осадками (рис.35-37). Вызвано это тем, что при выпадении осадков и во время облачности понижается температура и сокращается таяние ледника, и таким образом это сказывается на понижении уровня воды и сокращении стока р. Кашка-Тор.

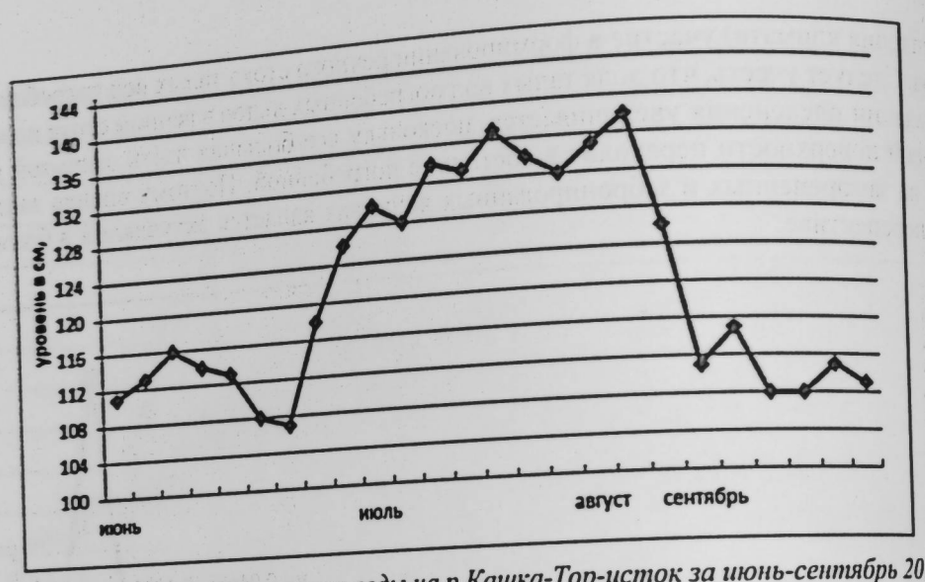


Рис.33. Ход среднесуточного уровня воды на р.Кашка-Тор-исток за июнь-сентябрь 2019 г.

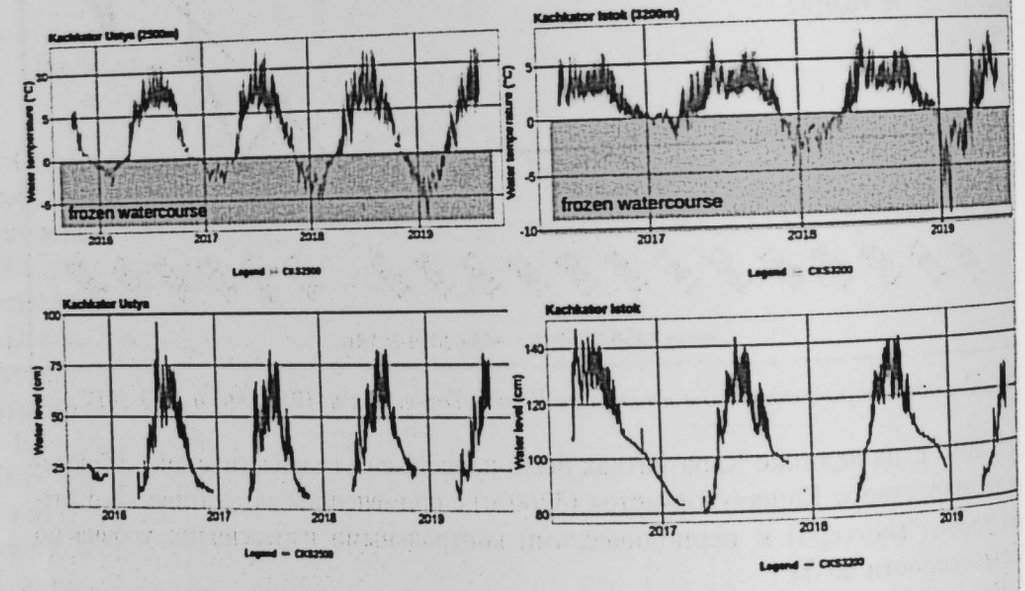


Рис. 34. Температура и уровень воды на гидропостах Кашка-Тор

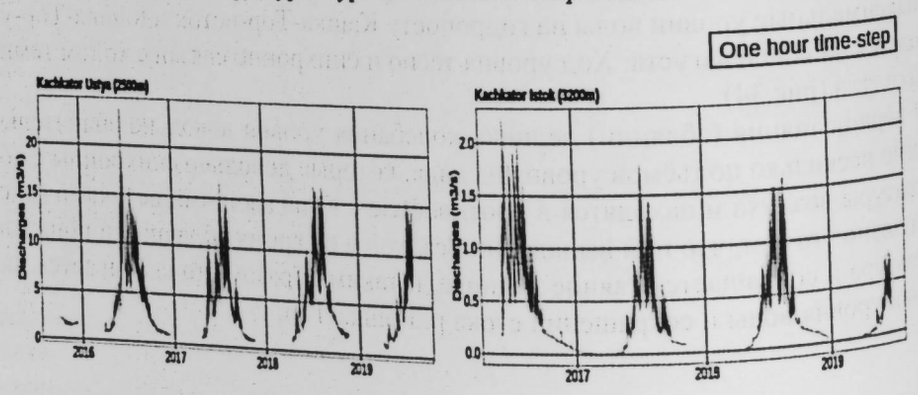


Рис. 35. Расходы воды на гидропостах Кашка-Тор - исток и Кашка-Тор-устье

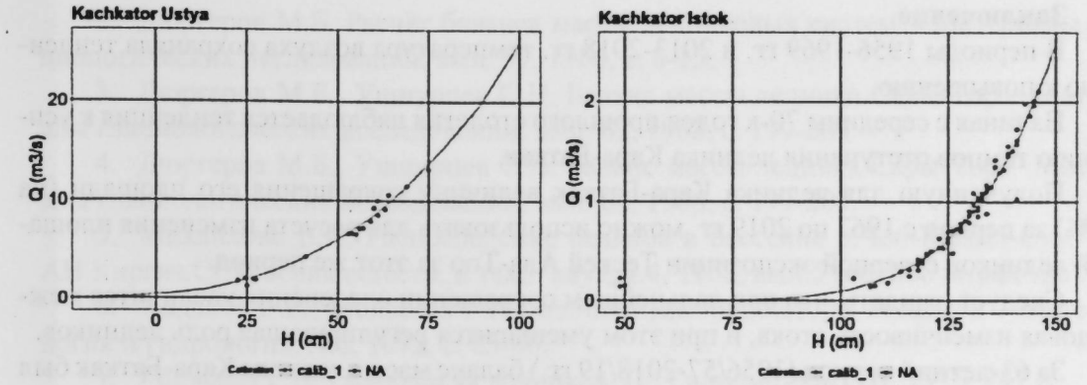


Рис. 36. Калибровка расхода воды на гидропостах Кашка-Тор - исток и Кашка-Тор – устье

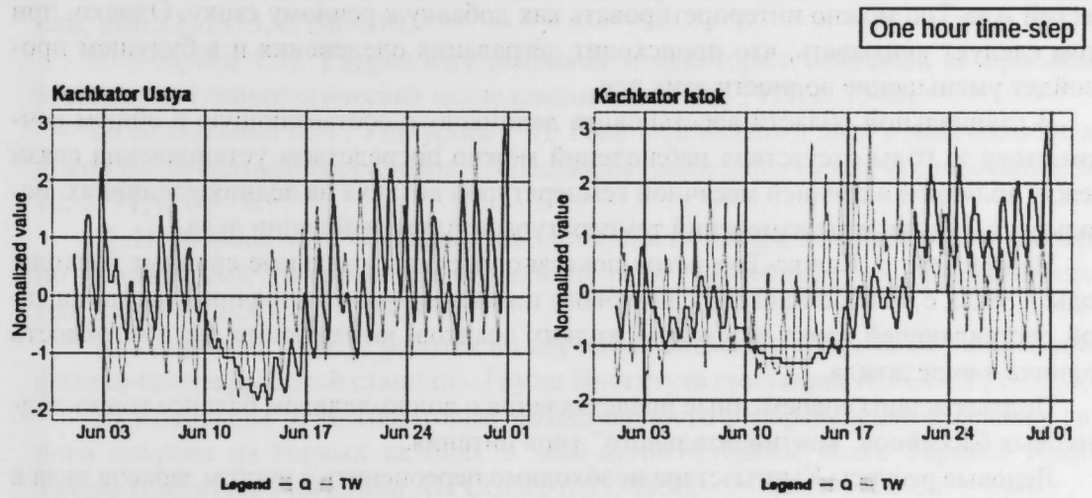


Рис. 37. Связь температуры воды с расходом р.Кашка-Тор-исток и Кашка-Тор устье

Заключение

В периоды 1956-1969 гг. и 2013-2018 гг. температура воздуха сохраняла тенденцию к повышению.

Начиная с середины 70-х годов прошлого столетия наблюдается тенденция к усилению темпов отступания ледника Кара-Баткак.

Полученную для ледника Кара-Баткак величину сокращения его площади (на 27%) за период с 1967 по 2019 гг. можно использовать для расчета изменения площадей ледников северной экспозиции Тескей Ала-Тоо за этот же период.

Следует ожидать, что при дальнейшем сокращении оледенения увеличится межгодовая изменчивость стока, и при этом уменьшится регулирующая роль ледников.

За 63-летний период (1956/57-2018/19 гг.) баланс массы ледника Кара-Баткак был преимущественно отрицательным. Отрицательный баланс массы ледника Кара-Баткак и других ледников бассейна р.Чон-Кызыл-Суу, а также - всего северного склона Тескей Ала-Тоо можно интерпретировать как добавку к речному стоку. Однако, при этом следует учитывать, что происходит деградация оледенения и в будущем произойдет уменьшение водности этих рек.

В гляциальной области восстановить ледниковую составляющую в общем речном стоке за годы отсутствия наблюдений можно посредством установления связи между абляцией и средней месячной температурой воздуха на леднике/ледниках, используя длинные ряды измерений температуры воздуха и абляции льда.

На примере р. Кашка-Тор-исток показано, что максимальные срочные расходы воды в реках с большой долей ледникового питания формируются при сочетании талой составляющей стока со стоком жидких осадков, выпадающих на поверхность ледника в виде дождя.

Подтверждены современные представления о водно-ледовом балансе горно-ледниковых бассейнов "континентального" типа питания.

Ледовые ресурсы Кыргызстана необходимо переоценить с учетом запасов льда в забронированных ледниках. На основе натурных экспериментов установлена предельная мощность (толщина) моренного покрова, при которой усиливается таяние льда, и при которой таяние практически прекращается. Эти данные, наряду с уже имеющимися в ТШВНЦ научно-практическими наработками, могут быть хорошей основой для переоценки ледовых ресурсов Кыргызстана в забронированных ледниках и мотивацией к повторной каталоголизации ледников КР с учетом запасов льда, содержащихся в забронированных ледниках.

Приведены результаты наблюдений за линейным отступанием фронтальной линии ледника и ход баланса его массы. Показано, что баланс массы ледника Кара-Баткак был отрицательным. Безусловно, все это связано с фактором глобального потепления.

Данные по балансу массы ледника Кара-Баткак отправлены во Всемирную службу мониторинга ледников (г. Цюрих, Швейцария), которая включила этот ледник в глобальную базу данных.

Список использованных источников

1. Голубев Г. Н., Дюргеров М. Б. Баланс массы ледника Джанкуат в 1967-1971 гг. и методы его измерения и расчёта – Материалы гляциологических исследований, вып. 21, 1973, с. 80-88.

2. Дюргеров М.Б. Расчёт баланса массы ледниковых систем – Материалы гляциологических исследований, вып. 57, 1986, с. 8-15.

3. Дюргеров М.Б., Ушнурцев С.Н. Баланс массы ледника Сары-Тор – Материалы гляциологических исследований, вып. 62, 1988, с. 199-203.

4. Дюргеров М.Б., Ушнурцев С.Н. Баланс массы ледника Сары-Тор – Материалы гляциологических исследований, вып. 62, 1988, с. 199-203.

5. Михайлова В.И. Распределение осадков в бассейне р.Чон-Кызыл-Суу//Изв. АН Киргиз.ССР, серия естеств. и техн. наук, т.4, 1962, вып.5 (водное хозяйство).

6. Ходаков В.Г., Моисеева Г.П. Ледники как индикаторы водности – Метеорология и гидрология, №6, 1972, с. 83-86.

7. Голубева Г.Н. Гидрология ледников. Л., Гидрометеоиздат, 1976, 247 с.

8. Котляков В.М. Современные исследования балансов льда, воды и тепла в репрезентативных ледниковых бассейнах – Материалы гляциологических исследований, вып.21, 1973, с. 206-219.

9. Голубев Г.Н. Гидрология ледников и некоторые основные её проблемы - Материалы гляциологических исследований, вып. 18, 1971, с. 73-86.

10. Михаленко В.Н., Ушнурцев С.Н. Роль наложенного льда в массообмене ледников континентальных районов – Материалы гляциологических исследований, вып. 70, 1991, с. 67-71.

11. Иверонова М.И. Основные закономерности распределения снежного покрова по продольному профилю горной долины реки Чон-Кызылсуу.- Труды Института географии АН СССР, т. 56, 1953.

12. Иверонова М.И. О работах по изучению снежного покрова на Тянь-Шанской физико-географической станции.- Труды Института географии АН СССР, т. 56, 1953.

13. Иверонова М.И. Некоторые закономерности распределения и режима снежного покрова на горных склонах в лесо-лугово-степном поясе Терскей Алатау.- Труды Института географии АН СССР, т. 57, 1956.

14. Иверонова М.И. Некоторые результаты наблюдений над распределением снежного покрова в горах Тянь-Шаня (хребет Терскей Алатау, бассейн реки Чон-Кызылсу).- Труды Тибилисского НИГМИ, вып. 3, 1958.

15. Цигельная И.Д., Голубева Г.Н. Условия формирования склонового стока. Фрунзе, Изд-во АН КиргССР, 1963.

16. Диких А.Н., Михайлова В.Н. Режим ледников и водный баланс северного склона хр. Терскей Ала-Тоо. М.: Наука, 1976. 131 с.

17. Диких А.Н. Режим современного оледенения Центрального Тянь-Шаня Фрунзе: Илим, 1982 159 с.

18. http://wgms.ch/latest-glacier-mass-balance-data/

19. Дюргеров М.Б., Поповнин В.В. Реконструкция балансы массы, пространственного положения и жидкого стока ледника Джанкуат со второй половины XIX века. МГИ, вып.40,1981, с.73-82.

20. Губанов А.С. Современный эволюционный этап опорных ледников Тянь-Шаня. М. 2019, с.154.

21. Aizen V.B., Aizen E.M., Malock J.M., Dozier J. 1997 Climate and Hydrologic Changes in the Tien Shan, Central Asia.//Journal of Climate, Vol. 10, # 6, pp.1393 1404.

22. Глазырин Г.Е. 2006. Сведения о системе гидрометеорологического мониторинга в Узбекистане. Доклад на Международном семинаре «Оценка снежно-ледовых и водных ресурсов Азии. Алматы, 28-30 ноября.

23. Чуб В.Е. 2000. Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан. Ташкент: САНИГМИ, 252с.

24. Severskiy I.V., Kokarev A.L. Severskiy S.I., Tokmagambetov T.G., Shagarova L.V., Shesterova I.N. (2006). Contemporary and prognostic changes of glaciation in Balkhash Lake basin. Almaty. 68p.

25. Благовещенский В.П., Пиманкина Н.В. 1997. Колебания снежности в горных районах Юго-Восточного Казахстана // Гидрометеорология и экология., №3, С.187-197.

26. Артемьева С.С., Царев Б.К. 2003. Климатические изменения зимнего периода в горах Западного Тянь-Шаня. «Риск-2003»,Ташкент,.С.138-142.

27. Браун Л., Хааг В. 2006. Современное и будущее воздействие снежного покрова и ледников на сток в горных районах- сравнение между Альпами и Тянь-Шанем. Доклад на Международном семинаре «Оценка снежно-ледовых и водных ресурсов Азии. Алматы, 28-30 ноября. 18 с.

28. Пиманкина Н.В. 1998, Тенденции изменения характеристик снежности казахстанской части Тянь-Шаня за последние 30 лет // Географические основы устойчивого развития Республики Казахстан. Алматы, С.75-79.

29. Пиманкина Н.В. 2000. Снежный покров как рекреационный ресурс гор Юго Восточного Казахстана // Вестник КазГУ, сер.геогр., № 2, С. 162-170.

30. Гальперин Р.И. 2003. К вопросу об изменении речного стока с северного склона Заилийского Алатау // Вестник КазНУ, Серия географ., № 1(16). С. 22-27.

31. Соломина О.Н. Горное оледенение Северной Евразии в голоцене. М., Научный мир, 1999, 264 с.

32. Забиров Р.Д. Оледенение Средней Азии. "Работы Тянь-Шанской физико-геогр. станции". Гляциологиявып. 1, Фрунзе, 1958.

33. 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, pg. 202-213.

34. Aizen V.B., Aizen E.M. 1997. Glaciers and snow cover in Central Asia as indicators of climate change in earth-ocean-atmosphere system. //Regional hydrological Response to Climate Warming. KluweracademicPubl. pp.269- 66.

35. Кошоев М.К., Колебания ледников Центрального Тянь-Шаня в XX веке., Режим ледников Центрального Тянь-Шаня., Фрунзе, Илим, 1986, 31-59.

36. Каталог ледников СССР, т.14, вып. 2, ч. 7. Л., ГИМИЗ, 1969, 80 с.

37. Каталог ледников СССР, т.14, вып. 1, ч. 5. Л., ГИМИЗ, 1977, 80 с.

38. Каталог ледников СССР, т.14, вып. 2, ч. 5. Л., ГИМИЗ, 1976, 80 с.

39. Корженевский Н.Л., Каталог ледников Средней Азии, Ташкент, 1930

40. Авсюк Г.А. Измерение температур льда ледника Кара-Баткак. Труды Ин-та геогр. АН СССР, вып.60, 1954 с. 31-39.

41. Голубев Г.Н. Гидрология ледников и некоторые основные её проблемы. Материалы гляциологических исследований. – Вып. 18. –1971. – С. 73-86.

42. Овчаров Е.Е., Захаровская Н.Н. Гидрология и гидрометрия. Л. Гидрометеоиздат. 1986. С.230.

ГЛАВА 2. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ В РАЗВИТИИ ГОРНЫХ ОЗЕР, И ИХ ПРОРЫВООПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

С. А. Ерохин; Ш. Э. Усупаев; Т. В. Тузова; В. В. Загинаев

1. Оценка прорывоопасности горных озер

В результате обследования плотин озер и озерных ванн выявляются критерии, по которым проводится типизация озер и определяется категория их прорывоопасности. На прорывоопасных озерах определяется механизм прорыва и строится его модель, по которой рассчитывается величина расхода прорывного потока. Определение расхода прорывного потока является очень важным действием процесса оценки прорывоопасности горных озер, так как от величины расхода во многом зависит возможность трансформации прорывного потока в селевой и размер границ селевого поражения.

1.1. Категории и критерии прорывоопасности горных озер

Категория прорывоопасности озера понятие отражающее состояние устойчивости плотины озера на момент его обследования. В процессе развития озера категория его прорывоопасности может изменяться много раз в зависимости от складывающейся ситуации возможности прорыва озера. Первоначально прорывоопасность озер оценивалась по трем категориям (наиболее прорывоопасная – первая). Однако в последние 7 лет появилась необходимость ввести еще и четвертую категорию, в которую попадают озера, уже прошедшие в своем развитии прорывоопасную стадию, т.е. они уже прорывались один или несколько раз. Но они еще сохранили возможность накопления в озерных ваннах значительных объемов воды и при соответствующих изменениях природных условий (землетрясении, обвалах, оползнях, селевых потокахы) могут стать прорывоопасными.

Понятие категория – обобщающее признаки ситуации, при которой возможен или не возможен прорыв озера в ближайшее или в более отдаленное время. Прорывопасная ситуация складывается в результате действия многих факторов. Роль каждого из них оценивается соответствующим критерием. В зависимости от важности факторов, формирующих прорывоопасную ситуацию озера, критерии разделяются на главные и второстепенные, которые лишь косвенно отражают прорывоопасность ситуации, но которые имеют большое значение при определении категории прорывоопасности озера. Поэтому необходимо иметь четкое представление о возможности каждого критерия при оценке прорывоопасности озера.

В результате многолетнего мониторинга прорывоопасных озер [1-4] была разработана градация важности критериев по оценке прорывоопасности озера.

1.Критерий переполнения озера. На первом месте в группе главных критериев по оценке прорывоопасности озер стоит критерий, отражающий возможность наполнения ванны озера до прорывоопасного предела. Для многих озер, особенно завально-обвальных и завально-селевых этим пределом будет гребень плотинной перемычки,

но для еще большего количества озер, особенно озер моренно-ледникового и моренно-ригельного типа, таким пределом является некоторый высокий уровень озера, при котором оно прорыватт через подземные каналы стока. При этом предельный уровень обычно находится значительно ниже уровня гребня плотинной перемычки. Его высота будет зависеть от пропускной способности подземных (внутриледниковых, внутриморенных) каналов стока. Канал стока может открыться при наполнении озера ниже максимально возможного, т.е. при уровне наполнения ниже уровня гребня плотинной перемычки.

На данном этапе изучения прорывоопасных озер нет способа определения предельного прорывоопасного уровня озера, при котором откроется подземный канал стока и произойдет его прорыв. Однако по тенденции подъема уровня воды в озере можно прогнозировать возможность его прорыва. Если приток и сток озера находятся в обычном режиме развития при открытых подземных каналах стока, то амплитуда колебаний его уровня не превышает отметки обычных годовых колебаний. Превышение максимальной годовой отметки обычного режима означает, что озеро переходит на новый режим – режим переполнения, когда канал стока закупорен, и приток в озеро превышает его сток. В новом режиме прорывоопасность озера быстро нарастает. Через какое-то время уровень озера поднимется до прорывоопасного предела, при котором давление воды озера превысит предел прочности пробки, закупорившей канал стока. Каналы стока откроются, начнется сброс воды из озера (рис.1.1). В процессе сброса каналы стока расширяются, расход прорывного потока увеличивается. Озеро прорывает. Озеро, развитие которого находится в режиме переполнения, по степени прорывоопасности соответствует 1-ой категории.

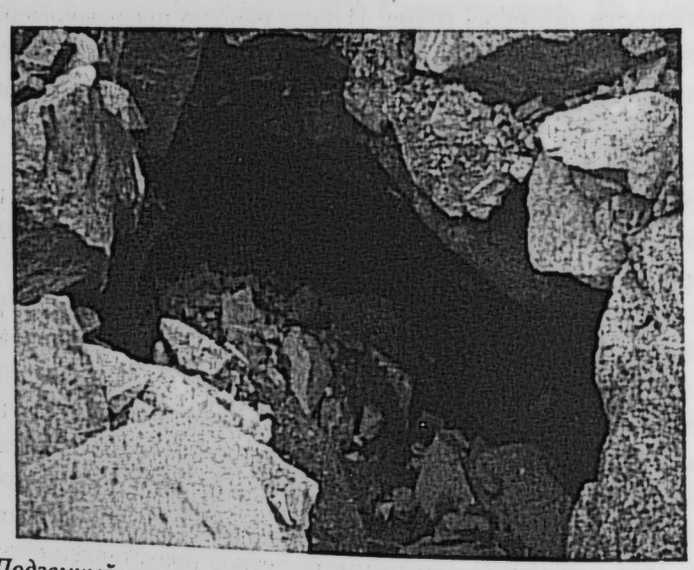


Рис. 1.1. Подземный канал стока на озере Зындан (бассейн реки Тон на северном склоне Терскей-Алатоо) после прорыва озера

Критерий переполнения озера является универсальным, поскольку отражает прорывоопасность озер всех типов и подтипов, вне зависимости от формы стока из озера: подземного, поверхностного или смешанного. Причин переполнения озер две:

1) приток в озеро больших объемов воды или селевой массы. В этом случае прорывоопасная ситуация образуется на озерах с любой формой стока. Примером переполнения озер с подземной формой стока может служить прорыв озера Яшилькуль в 1966 году. (Глазырин, 1968). Значительно реже случаются переполнения и последующие прорывы озер с поверхностным стоком. Редкие случаи прорыва таких озер отличаются особой катастрофичностью. Достаточно вспомнить прорыв озера Иссык в 1963году, когда, это крупное завально-обвальное озеро (его объем составлял 18 млн.м^3), имеющее хорошо отлаженный поверхностный сток, было переполнено селевыми массами, поднявшими уровень озера на 5,5м. [5].

2) закупорка подземных каналов стока. Эта ситуация может сложиться на озерах с подземной или смешанной формой стока. Одним из ярких примеров переполнения такого озера, выше предельного уровня прорывоопасности, с последующим его прорывом в 1998 году, является озера Аллаудин в долине реки Шахимардан (рис.1.2) [6].

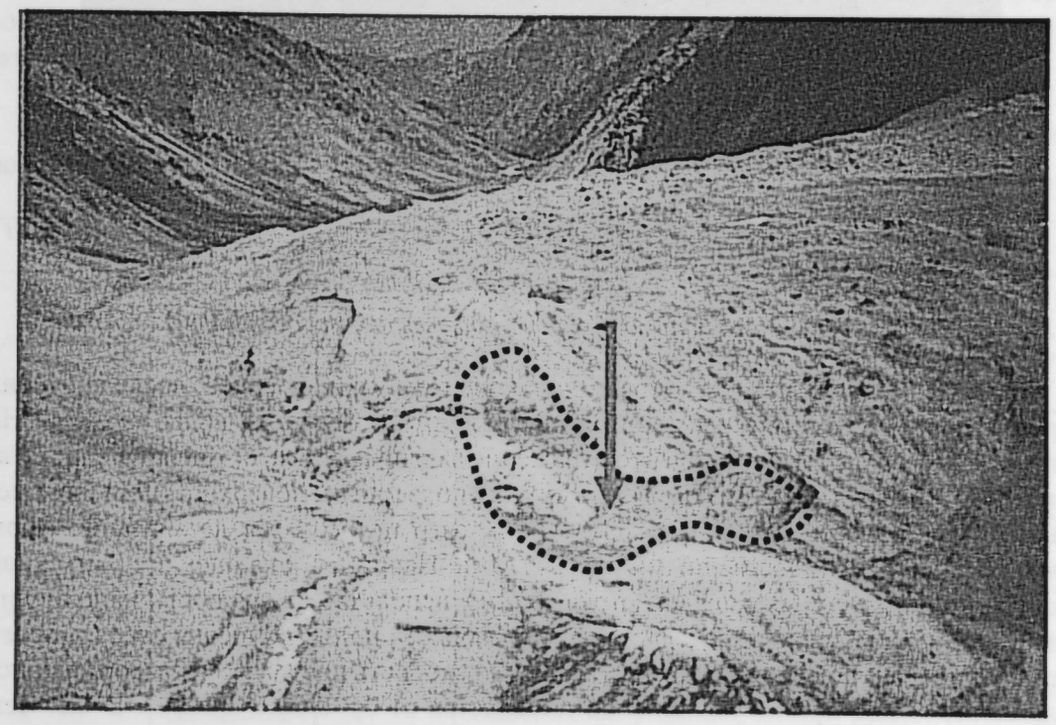


Рис.1.2. Сухая ванна озера Аллаудин после прорыва в 1998 г.

Следует указать, что далеко не каждый перелив воды из озера через гребень плотинной перемычки заканчивается прорывом озера. В процессе перелива формируется русло перелива (рис.1.3). Для прорыва озера необходимо, чтобы из русла перелива образовался прорывной проран. Это возможно при условии, что расход перелива будет достаточно большим, чтобы его эрозионной энергии хватило для размыва отложений, слагающих плотинную перемычку. В результате эрозии русло перелива углубляется, расширяется и переходит в прорывной проран. При этом поток перелива трансформируется в прорывной поток. Его расход увеличивается в десятки раз, соответственно многократно возрастает его разрушительная энергия, под действием

которой прорывной проран углубляется до уровня дна озера. Ванна озера опорожняется.



Рис.1.3. Переполнение озера Кольтор сопровождается формированием русла перелива

2. Критерий формы стока. Вторым в группе главных критериев, после критерия переполнения озера, стоит критерий, отражающий форму стока воды из озера. На данном этапе обследования озер это отражение заключается пока только в констатации типа этой формы: сток из озера может быть подземным, поверхностным или смешанным. В процессе будущих обследований озер потребуется детализация форм стока, оценка их количественными параметрами. Например, для оценки пропускной способности подземных каналов стока можно использовать скорость наполнения озерной ванны, которая определяется через скорость подъема уровня озера при его наполнении. Как показывают исследования [7] скорость роста уровня озер моренно-ледникового типа при их наполнении изменяется от 0,5-0.6 до 3,5-4 см в час. Чем выше скорость подьема уровня озера при его наполнении, тем больше прорывоопасность озера.

Если озеро находится в обычном режиме развития, т.е. его переполнение до предела прорывоопасности не наблюдается, то для определения возможности формирования на озере прорывоопасного режима развития в будущем, используется критерий формы стока. Как показывают результаты многолетних изучений горных озер, прорывоопасными в 99% случаев являются озера с подземным стоком. Так из 20-ти случаев наиболее катастрофических прорывов горных озер Тянь-Шаня за последние 70 лет (исключая прорывы внутриледниковых емкостей) не было ни одного прорыва озера с поверхностным стоком. Хотя случаи опасных прорывов озер с поверхностным стоком возможны, например, прорыва озера Иссык в 1963 году, но они очень редки.

Следовательно, озера с поверхностным стоком можно отнести к почти непрорывоопасным или относительно прорывоопасным озерам 4-ой категории. Тогда озера с подземным стоком, находящихся в обычном режиме развития могут иметь либо 2-ою, либо 3-тью категории прорывоопасности. Для уточнения категории необходимо использовать другие критерии, которые уже не будут универсальными для всех типов и подтипов прорывоопасных озер, а будут отражать возможность возникновения прорывоопасной ситуации на озерах только одного определенного типа и подтипа.

Для уточнения категории прорывоопасности горных озер должны проводиться детальное аэровизуальное и наземное обследование плотин и ванн прорывоопасных озер. При этом решаются следующие задачи:

- определяется устойчивость плотины озера и возможное время её прорыва;
- определяется механизм прорыва озера, строится модель прорыва;
- рассчитывается расход прорывного потока.

В процессе решения вышеперечичленных задач определяется категория прорывоопасности озера, 2-ая или 3-ья категории, по нескольким критериям, набор которых зависит от типа и подтипа озера (см. табл.1.1).

Таблица 1.1. Критерии категорий прорывоопасности озер различных типов и подтипов

Тип озера	Подтип озера	Категория опасности	Критерии прорывоопасности	Примечание
ледниковый	Термокарстовый и подпруживания	2	Тенденция увеличения объема озера, просадки ледника вдоль канала стока; прорывы озера в прошлом.	
		3	Внутриледниковый канал стока. Круглогодичный объем воды в ванне озера.	
	Внутриледниковый	2	Мощный ледопад в нижней (концевой) части ледника; прорывы в прошлом; резкие изменения в режиме стока талых ледниковых вод.	
		3	Ледопад в нижней (концевой) части ледника.	
моренно-ледниковый	Внутри-моренных и присклоновых депрессий	2	Активные просадки на теле плотины и вдоль ложбины подземного стока; термокарстовые воронки по бортам ванны озера; амплитуда колебания уровня озера до нескольких метров; ледник спадает в озеро уступом; эрозионный овраг на внешнем склоне плотины; очаг выклинивания подземного канала стока в вершине оврага.	На присклоновых озерах: повышенная минерализация и температура воды в озере, по сравнению с талой ледниковой водой
		3	Просадки вдоль ложбины подземного канала стока; эрозионные промоины на внешнем склоне плотины; выклинивание воды у подножия внешнего склона плотины.	
	Термокарстовый	2	Канал подземного стока, вдоль которого проседает поверхность плотины; эрозионный овраг в устье подземного канала стока; очаг выклинивания в вершине оврага.	
		3	Просадки вдоль канала подземного стока. Выклинивание воды у подножия внешнего склона плотины	

моренно-ригельный		2	Просадки на теле плотины и вдоль ложбины подземного стока; амплитуда колебания уровня озера до нескольких метров; эрозионный овраг на внешнем склоне плотины; очаг выклинивания воды в вершине оврага; ледник спадает в озеро уступом; высокая вероятность подъема уровня озера выше скального порога ригеля.	
		3	Подземный сток; эрозионная промоина на внешнем склоне плотины; выклинивание воды у подножия внешнего склона плотины.	
Моренный		2	Эрозионный овраг на внешнем склоне плотины; очаг выклинивания подземного канала стока в вершине оврага.	
		3	Эрозионный овраг на внешнем склоне плотины; выклинивание воды у подножия внешнего склона плотины.	
Завальный	Обвальный	2	Глубокое русло перелива; эрозионный овраг на внешнем склоне плотины; очаг выклинивания подземного канала стока в вершине оврага.	Глубина русла перелива больше мощности почвенно-растительного слоя
		3	Эрозионная промоина на внешнем склоне плотины выклинивание воды у подножия внешнего склона плотины.	Глубина русла перелива меньше мощности почвенно-растительного слоя
	Селевой	2	Подъем уровня воды в озере. Большая вероятность переполнения озера. Русло перелива.	
		3	Малая вероятность переполнения озера.	
	Оползневой	2	Подъем уровня озера. Высокая вероятность переполнения озера. Выклинивание воды у подножия внешнего склона плотины	
		3	Вероятность переполнения озерной ванны.	

Категория прорывоопасности озера может изменяться в процессе его развития, а также при изменении природных условий.

Более половины прорывов озер, зафиксированных за последние 70 лет, произошли на ледниковых озерах (табл.1.2), из которых 95% случаев прорывов приходятся на озеро Мерцбахера в Центральном Тянь-Шане, на леднике Иныльчек.

Таблица 1.2. Количество прорывов высокогорных озер

№	Типы озер	Количество прорывов за последние 70 лет, в %
1	Ледниковые озера	54
2	Моренно-ледниковые озера	25
2	Моренные озера	25
4	Моренно-ригельные озера	3
5	Завальные озера	17

Наибольшую угрозу, в настоящее время, представляют озера моренно-ледникового типа. Их в каталоге прорывоопасных озер 47%, затем идут моренно-ригельные -26%, моренные -14%, завальные - 12%, ледниковые - 1% [8].

Поскольку методика оценки прорывоопасности горных озер находится еще на стадии разработки, то большинство критериев прорывоопасности не оцениваются какими-либо количественными параметрами, а характеризуются качественно. Ниже приводится характеристика наиболее важных критериев.

1.1.1. Критерии прорывоопасности для озер ледникового типа

1. Скорость наполнения озера. Быстрое наполнение обуславливается закрытостью каналов стока. По мере увеличения объема возрастает давление на плотину озера и пробку в канале стока. Озеро прорвет, когда его уровень поднимется до прорывоопасного предела. Определить высоту этого предела весьма сложно, так как в каждом конкретном случае оно будет зависеть от строения канала стока и ванны озера. Более того, даже на одном озере, например, озере Мерцбахера (рис.1.4), его прорыв происходит при разных уровнях наполнения.



Рис.1.4.Озеро Мерцбахера-верхнее после прорыва нижнего озера

2. Прорывы озера в прошлом. Для ледниковых озер в процессе их развития характерны неоднократные прорывы. Например, озеро Мерцбахера, или озеро Бузулгансу (рис.2.5), на южном склоне Кыргызского хребта в верховьях долины реки Шамси-южное.

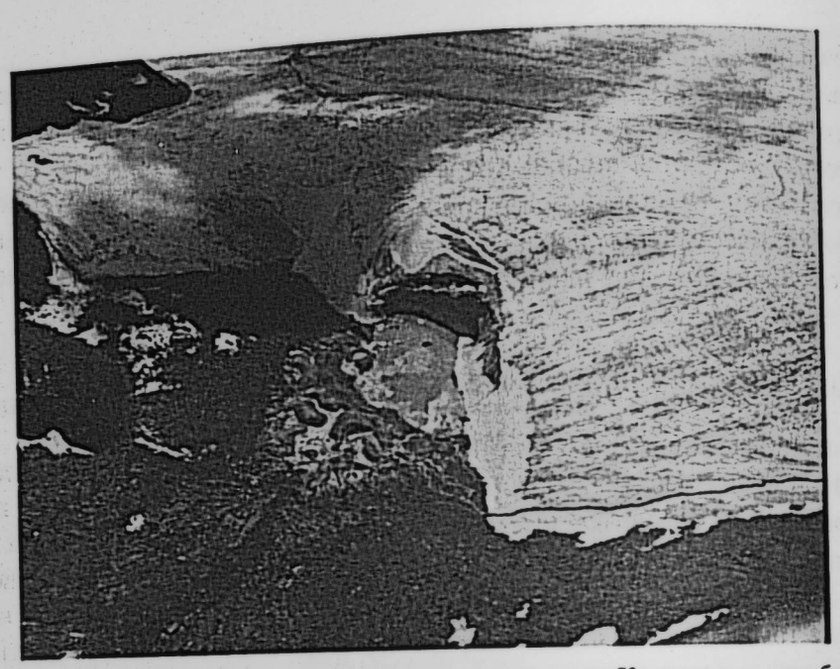


Рис.1.5. Ледниковое озеро Бузулгансу на южном склоне Кыргызского хребта

1.1.2. Критерии прорывоопасности для озер моренно-ледникового, моренно-ригельного и моренного типов

1. Подземный сток из озера. С подземным стоком связана возможность закупорки подземных каналов и последующего их прорыва при переполнении озера.

2. Термокарстовые просадки на плотине озера, вдоль подземных каналов стока. Это свидетельство активных преобразований канала с большой вероятностью просадок его кровли и его закупорки с последующим прорывом (рис.1.6).

3. Термокарстовые просадки на днище озерной ванны. Просадки днища ванны свидетельствуют о том, что под озером имеются пустоты, которые могут соединяться с подземными каналами стока, через которые возможен прорыв озера (рис.1.7).

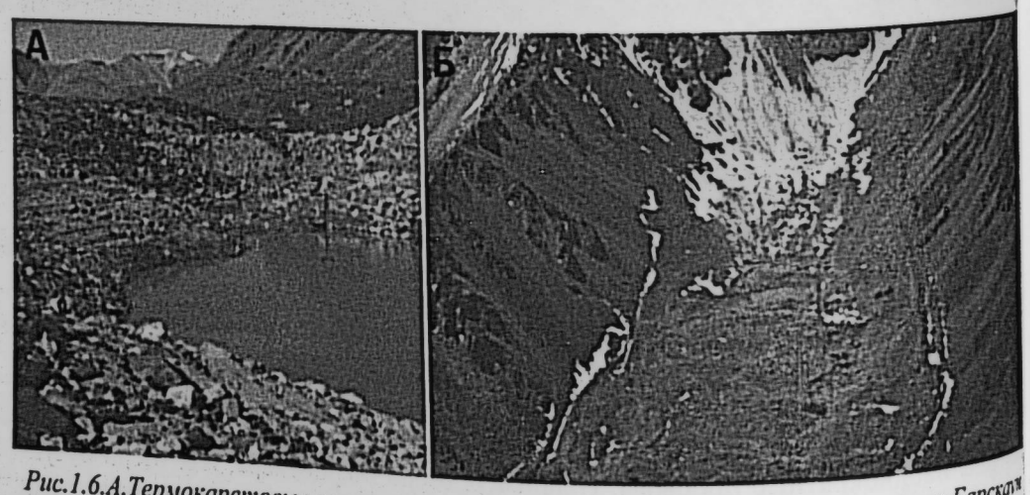


Рис.1.6.А.Термокарстовые воронки на плотине озера Керегеташ в бассейне реки Барскаун на северном склоне хребта Терскей-Алатоо; Б- термокарстовые воронеи вдоль ложбины стока озера Чирканак в бассейне реки Нооруз, на сквкперм чуорне Кыргызского хребта

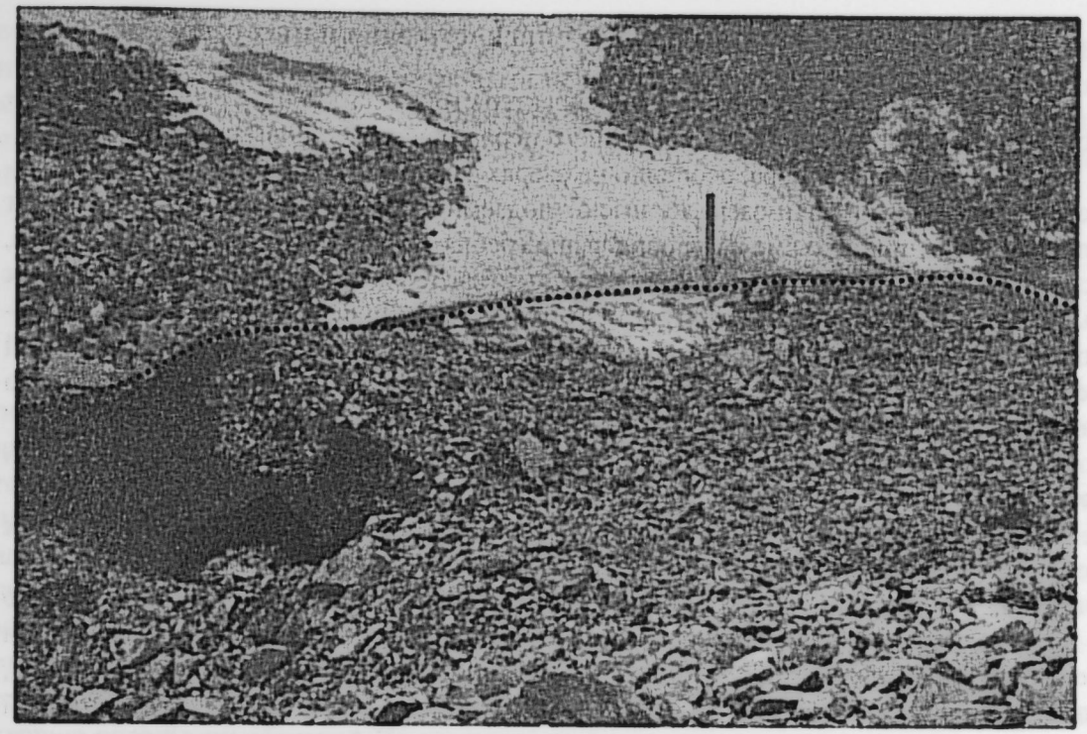


Рис.1.7. Ванна одного из озер Адыгене (бассейн реки Ала-Арча на северном склоне Кыргызского хребта), прорвавшегося 10 июля 2005 г. через подземный канал стока (зияющее отверстие). Стрелкой показан уровень воды в бывшем озере

4. Положение языка современного ледника относительно озера. Если ледник спадает в озеро, то для последнего это означает перспективу роста, так как место отступающего ледника будет занимать озеро. Кроме того, все талые воды, стекающие с ледника, попадают в озеро, пополняя его (рис.1.8). Если ледник отступил от озера, то это означает, что ванна озера закончила свое формирование, и озеро переходит в более спокойную стадию своего развития.

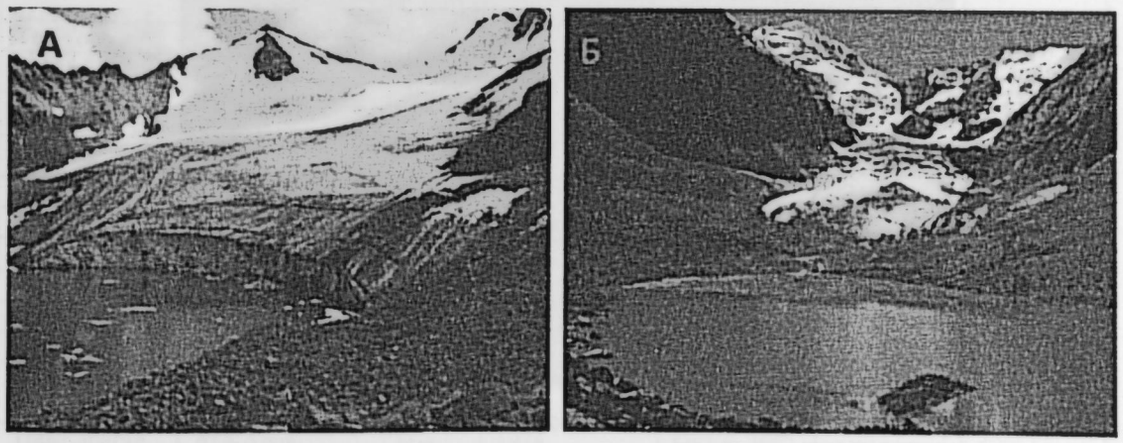


Рис.1.8. А. Ледник спадает в озеро Чирканак (северный склон Таласскогго хребта) уступом, высотой 10-12м. Б. Ледник отступил от озера Карабаткак на 250м. (северный склон хребта Терскей-Алатоо)

1.1.3. Критерии прорыв опасности завальных озер

1. Подземный сток из озера. Такой характер стока всегда таит в себе угрозу закупорки подземных каналов и последующего переполнения и прорыва озера.

2. Подъем уровня озера, особенно на озерах завально-селевого и завально-оползневого типа. Обычно эти озера не имеют подземного стока, поэтому они начинают опорожняться при подъеме их уровня выше гребня плотинной перемычки. В случае, если подземный сток из озер этих подтипов есть, то подъем уровня на этих озерах выше обычного годового максимума, означает, что, либо произошла закупорка каналов подземного стока, либо в озеро принесены большие объемы воды или селевой массы. И в том и другом случае возникает прорывоопасная ситуация, которая обычно заканчивается прорывом озера.

3. Наличие эрозионного оврага на внешне склоне плотинной перемычки (рис.1.9).

Эрозионный овраг на внешнем склоне плотинной перемычки появляется в двух случаях: 1) выклинивания подземного канала стока; ниже очага выклинивания формируется эрозионный овраг, который растет не только вниз к подножию плотины, но и вверх, к гребню плотинной перемычки, что весьма прорывоопасно для озера; 2) при переполнении озера, потоки, переливающиеся через гребень плотинной перемычки, размывают обломочный материал, слагающий плотину, и формируют овраг, который быстро углубляется и растет вверх по направлению к гребню плотинной перемычки. Если вершина оврага достигнет, в процессе своего роста, гребня плотины, то его уровень понизится до уровня дна оврага. Через это понижение, как через прорывной проран, начнется сброс воды из озера и его прорыв.



Рис.1.9. Эрозионный овраг на внешнем склоне плотинной перемычки озера Кольтор в долине реки Кегеты на северном склоне Кыргызского хребта

4. Селеопасность вышележащего участка долины. Этот критерий появился в по
следние годы, после неоднократного переполнения селевыми потоками завального

озера Кольтор, в долине реки Кегеты, на северном склоне Кыргызского хребта. В настоящее время, в связи с изменениями климата, появляется реальная угроза формирования мощных селевых потоков в верховьях долин, которые не только переполняют завальные озера ниже по долине, но и образуют посредством завалов новые прорывоопасные озера.

1.2. Модели прорывов горных озер. Определение расхода прорывного потока

Чтобы защитить хозяйственные объекты от разрушительного действия селевых потоков и паводков, сформированных при прорывах горных озер, необходимо оценить мощность прорывных потоков и определить зону их поражения. Это возможно только при условии правильного представления о механизме прорыва озера. Каким путем будет выходить вода из озера? Каким будет прорывной проран? Вот главные вопросы, которые необходимо решить при определении самого важного параметра прорывного потока - его расхода. Результаты изучения прорывов горных озер показывают, что диапазон значений расходов прорывных потоков весьма широк: от единиц до тысяч кубических метров в секунду [8]. Такой широкий разброс значений обусловливается в первую очередь разнообразием механизмов прорыва озер, и только во вторую очередь их объемом. Из этого вывода вытекает понимание интереса и необходимости изучения механизма прорывов горных озер.

Таблица 1.2.1. Расходы прорывных и селевых потоков при прорывах озер Кыргызстана

Название озера	Речной бассейн	Тип озера	Год и месяц прорыва	Объем озера, тыс. $м^3$	Механизм прорыва	Расход прорывного потока, $м^3/с$
Кичи-Кзылсу	Кичи-Кызылсу	м-л	1952, август	Около 150	подземн.	15
Теке-Тор	Туюк-Иссык-Атинский	м-л	1952, август	Около 200	подземн.	12
Тез-Тор	Ала-Арча	м-л	1953 июнь	80	подземн.	21
Ак-Сай	Ала-Арча	л	1960 июль	40-50	подземн.	20-30
Ак-Сай	Ала-Арча	л	1961 июль	50	подземн.	30
Ак-Сай	Ала-Арча	л	1965 август	50	подземн.	20
Ак-Сай	Ала-Арча	л	1966, июнь	40-50	подземн.	20-30
Яшиль-Куль	Исфайрамсай	з	1966 июнь	6600	смешан.	1000
Чон-Кызылсу	Чон-Кызылсу	м-л	1966 октябрь	100	поверхн.	60
Ак-Сай	Ала-Арча	Л	1968, июль	50-60	подземн.	30
Иша	Аксу	м-л	1968, июль	Около 150	подземн.	20
Ак-Сай	Ала-Арча	Л	1969, июль	50-60	подземн.	40
Ак-Сай	Ала-Арча	Л	1970,июль, август	30-40	подземн.	10-20
Топ-Карагай	Ала-Арча	м-л	1974	Около 300	подземн.	6
Чоктал-1	Чоктал	м-л	1977 сентябрь	764	подземн.	33
Тегермеч	Исфайрамсай.	м-л	1978август	400	подземн.	32
Теке-Тор	Туюк-Иссык-Атинский	м-л	1978август	250	подземн.	30

Ангысай	Тон.	м-л	1978	100	подземн.	15
Ак-Сай	Ала-Арча	Л	1980август	30-40	подземн.	5-10
Кейдыкучкач	Сокулук	м-л	1983август	250	подземн.	45
Суюктор	Джеруй-Ак-Сай	м-л	1985	70	подземн.	29
Бузулгансу	Шамси-Коч-корск.	Л	1987 июль	100	подземн.	20
Тез-Тор	Ала-Арча	м-л	1988август	150	подземн.	14
Такыртор	Нооруз	м-л	1991июнь	150	подземн.	15
Топ-Карагай	Ала-Арча	м-л	1993август	160	подземн.	5-8
Джалпактор	Чирканак-Таласск.	м-л	1993 август	150	подземн.	35
Ат-Джайлоо	Кегеты	м-л	1997 июнь	120	подземн.	10
Джалпактор	Чирканак-Таласск.	м-л	1997 июль	200	подземн.	30
Аллаудин	Шахимардан	м-л	1998 июль	50	смешан.	30
Чоктал-2	Чоктал	м-л	1999 сентябрь	250	смешан.	11
Тезтор	Ала-Арча	м-л	2005	60	подземн.	8
Зындан	Тон	м-л	2008июль	450	подземн.	25
Такыртор	Нооруз	м-л	2009июнь	100	подземн.	13
Тезтор	Ала-Арча	м-л	2012 июль	70	подземн.	27
Четынды	Аксай-Тон	м-л	2013 август	200	смешан.	15
Челектор	Нооруз	м-л	2017август	400	подземн.	19
Тезтор	Ала-Арча	м-л	2018август	70	подземн.	8

В данном разделе рассматриваются возможные механизмы опасных прорыво горных озер на основе информации, полученной, во-первых, при непосредственны наблюдениях за прорывами озер, во-вторых, при изучении плотин озер, предрасп ложенных к прорыву, в-третьих, при обследовании морфологических и литологич ских следов, сохранившихся после прорывов таких озер в прошлом.

После обследования нескольких десятков прорывов озер различных типов уст новлены следующие варианты их механизма [1, 8]:

1)подземный - прорыв через подземные каналы стока (рис. 1.9), наиболее распр страненный среди озер всех типов, исключая завальный (около 70% от общего чис прорыв);

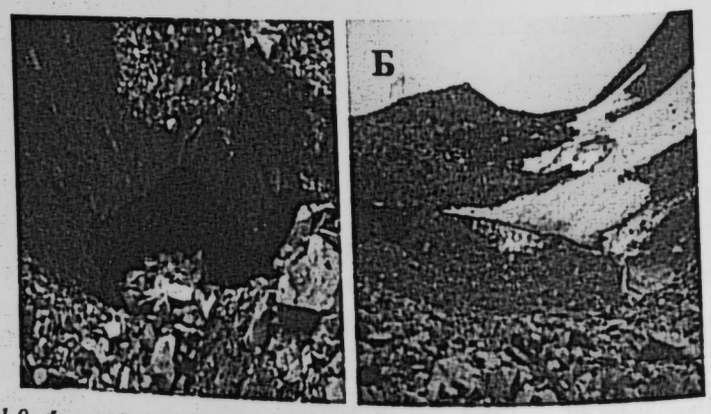


Рис.1.9. Фото А - входной проран внутриморенного канала стока, через который произошел прорыв одного из озер Адыгене - фото Б

2) поверхностный, наименее распространенный (около 5%), прорыв через проран на гребне плотинной перемычки. Этим вариантом прорывают озера завального типа и очень редко моренно-ледникового, моренно-ригельного и моренного типов;

3) смешанный, подземно-поверхностный (около 25% от общего числа прорывов), прорыв начинается подземным путем, но после обрушения кровли канала стока переходит в поверхностный (рис.1.10);



Рис.1.10.Прорывной проран в теле плотины озера Аллаудин образовался после просадки кровли подземного канала стока при прорыве озера в 1998г. Озеро находится в долине Шахимардан, на северном склоне Алайского хребта

В результате прорыва по 2 и 3 вариантам на внешнем склоне плотины озера, образуется глубокий селевой овраг (рис.1.11).



Рис.1.11. Глубокий и широкий проран в виде селевого оврага сформировался при прорыве озера Чоктал в 1977 г. (Фото Шатравина В.И.)

1.2.1. Прорыв озера подземным путем

При таком механизме прорыва для определения прорывного расхода использ
ется модель разветвленного трубопровода, составленного из относительно коротк
труб различного диаметра и шероховатости с многочисленными сужениями, расш
рениями и поворотами, препятствующими движению потока (рис.1.12). Эти местн
и путевые гидравлические сопротивления приводят к значительным потерям е
энергии, что проявляется в уменьшении скорости и, соответственно, уменьшен
расхода потока. Чем длиннее подземный канал стока, тем меньше расход прорывн
потока. Действительно, наблюдаемые нами расходы прорывных потоков в усть
подземных каналов стока, в основном, не превышали 10, редко достигали 20-
30 м^3/сек.

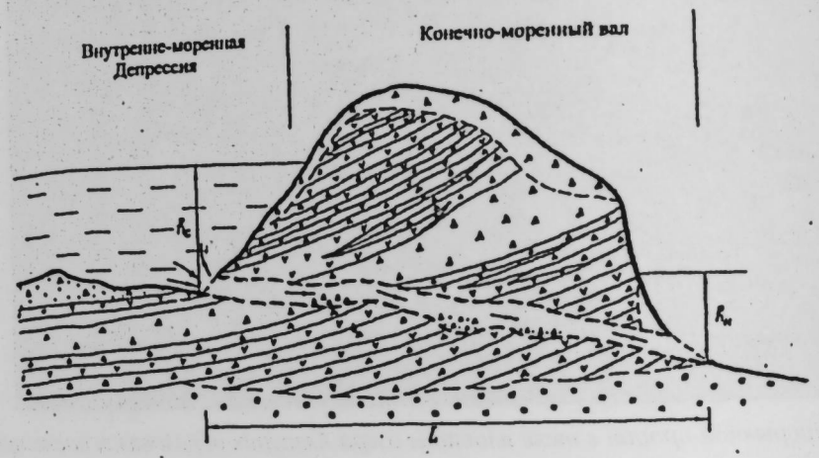


Рис. 1.12. Схематичный поперечный профиль плотины моренно-ледникового озера с подземным прорывным каналом стока

Модель разветвленного трубопровода хорошо отражается формулой В.А.Кер
кулова, И.Г.Цукермана:

$$Q_B = \frac{\sqrt{h_c + h_к}}{\sqrt{A_B * h_к + \beta}}$$

-где: Q – расход прорывного потока через подземные каналы стока, м^3/с;

h_c - превышение уровня воды в озере над входным отверстием прорывного нала,м. Если входное отверстие находится на дне озера, то величина h_c равна глуб озера $h_c = h_{оз}$;

$h_к$ - превышение входного отверстия канала над выходным, м. Условно считается, что канал заполнен водой и в выходном отверстии канала проявляется весь напор воды, его заполняющей;

β - гидравлическое сопротивление: $\beta = \frac{0{,}056}{F^2}$ - где F – площадь сечения выходного отверстия канала стока, м^2. Площадь сечения прорывных каналов (тоннелей, гротов) меняется в широких пределах (см табл.2.2.2).

-прорыв озера Бузулгансу на южном склоне Кыргызского хребта (1987) – 50м^2

Из вышепрведенных данных следует, что предельно допустимое значение площади сечения грота находится около величины 100м^2. Превышение этого значения приводит к обрушению грота.

$A_в$ – среднее зачание сопротивления потоку вдоль канала стока:

$$A_B = \frac{A_н * L * n}{h_к} \qquad (2)$$

-где: L-кратчайшее расстояние между входным и выходным отверстиями каналов стока;

$h_к$- превышение входного отверстия канала над выходным, м;

n – отношение фактической длины трубопровода к величине L.

$A_н$-удельное сопротивление, учитывающее как местные так путевые потери скорости потока. Для определения величины $A_н$ используются формулы (1) и (2) преобразованные в следующий вид:

$$A_н = \frac{I}{n \times L} \times \frac{h_c + h_к}{Q^2} - \frac{0{,}056}{F^2} \qquad (3)$$

Данные о прорывах моренно-ледниковых озер северного склона Заилийского Алатау, позволили В.А.Керемкулову и И.Г.Цукерману (1985) [9] определить среднее значение величины $A_н$. Оно составило – $5{,}2*10^{-5}$ с^2/м^6. По формулам 1-3 были определены расходы прорывных потоков опорожнения некоторых опасных озер. Данные расчета приведены в таблице 1.2.2.

Таблица 1.2.2. Параметры прорывных расходов

№ п/п	Название озера и год его прорыва	h_c, м	$h_к$, м	$A_н$	N	L,м	B	F,м^2	$A_в$	$Q_т$, м^3/с
1	Текетор, 1952	25	50	$5{,}2*10^{-5}$	1,1	400	$22{,}4*10^{-4}$	5	$4{,}6*10^{-4}$	54
2	Тез-Тор, 1953	7	85	$5{,}2*10^{-5}$	1,05	470	$5{,}6*10^{-4}$	10	$3{,}0*10^{-4}$	59
3	Топ-Карагай, 1974	20	200	$5{,}2*10^{-5}$	1.1	1500	$6{,}2*10^{-4}$	3	$4{,}3*10^{-4}$	50
4	Чоктал-1, 1977	15	30	$5{,}2*10^{-5}$	1,03	150	$5{,}6*10^{-4}$	10	$2{,}7*10^{-4}$	72
5	Тегермеч, 1978	15	80	$5{,}2*10^{-5}$	1,04	500	$3{,}9*10^{-4}$	12	$3{,}4*10^{-4}$	59
6	Кейдыкучкач, 1983	8	94	$5{,}2*10^{-5}$	1,02	380	$2{,}5*10^{-4}$	15	$2{,}1*10^{-4}$	71
7	Суюктор, 1985	10	95	$5{,}2*10^{-5}$	1,01	670	$5{,}6*10^{-4}$	10	$3{,}7*10^{-4}$	54
8	Тез-Тор, 1988	11	8	$5{,}2*10^{-5}$	1,02	120	$5{,}6*10^{-4}$	10	$8{,}0*10^{-4}$	54
9	Такыр-Тор, 1991	20	70	$5{,}2*10^{-5}$	1,1	500	$15{,}5*10^{-4}$	6	$4{,}1*10^{-4}$	54,5
10	Джалпак-Тор, 1993	7	60	$5{,}2*10^{-5}$	1,16	100	$5{,}6*10^{-4}$	10	$1{,}0*10^{-4}$	101
11	Чоктал-2, 1999	15	80	$5{,}2*10^{-5}$	1.1	350	$6{,}2*10^{-4}$	3	$2{,}5*10^{-4}$	60
12	Тез-Тор, 2005	12	80	$5{,}2*10^{-5}$	1,2	400	$6{,}2*10^{-4}$	3	$3{,}1*10^{-4}$	54
13	Зындан, 2008	10	50	$5{,}2*10^{-5}$	1,1	200	$8{,}8*10^{-4}$	8	$2{,}3*10^{-4}$	70
14	Такыртор, 2009	15	70	$5{,}2*10^{-5}$	1.1	500	$15{,}5*10^{-4}$	6	$4{,}1*10^{-4}$	53
15	Тез-Тор, 2012	12	45	$5{,}2*10^{-5}$	1,0	150	$15{,}5*10^{-4}$	6	$1{,}7*10^{-4}$	79
16	Челектор, 2017	10	120	$5{,}2*10^{-5}$	1,2	1100	$2{,}5*10^{-4}$	15	$5{,}7*10^{-4}$	43
17	Тез-Тор,2018	12	60	$5{,}2*10^{-5}$	1,1	300	$6{,}2*10^{-4}$	3	$2{,}9*10^{-4}$	55

Формулы (1-3) сложно использовать в повседневной практике изучения озер, так как в них входят коэффициенты, требующие детальных работ для их определения. Выполнение таких работ либо вообще пока невозможно (определение полезного сечения подземного канала стока по его длине), либо требует больших затрат (применение геофизических методов для определения истинной длины подземного канала стока). Поэтому проводились поиски более простой формулы, позволяющей определять расход прорывного потока с достаточной для практики точностью. В результате поисков был разработан более простой метод расчета расхода прорывного потока. Он состоит из следующих положений:

1) озеро в момент прорыва представляет собой бассейн, в котором спускают загрязнившуюся воду для смены её на чистую. Скорость истечения воды из бассейна через спускное отверстие может быть определена по формуле:

$$Vn=\varphi(2g\,h_c)^{0,5} \qquad (4)$$

-где φ – коэффициент скорости. Для большинства случаев, приближенно можно принимать φ= 0,98 (Справочник по гидравлическим расчетам, 1972) [35];

h_c - превышение уровня воды в озере над входным отверстием прорывного канала,м.

При скорости Vn и сечении входного отверстия канала стока площадью F, расход прорывного потока в начале канала стока Qn будет равен

$$Qn= F*Vn \qquad (5)$$

По мере продвижения по каналу стока скорость потока будет уменьшаться из-за местных и путевых сопротивлений (сужение и расширение сечения канала, извилистость его, шероховатость его стенок и т.д.). Приближенно эту потерю скорости можно оценить коэффициентом гидравлических сопротивлений ρ, приближенно равным отношению величины hк (превышение входного отверстия канала над выходным, м) к длине прорывного канала - L*n.

$$\rho = hк/ L*n \qquad (6)$$

Скорость прорывного потока в устье прорывного канала V_c будет равна начальной его скорости Vn, уменьшенной коэффициентом ρ

$$V_c = \rho*Vn \qquad (7)$$

Расход прорывного потока на его выходе из прорывного канала уменьшится на величину уменьшения начальной скорости прорывного потока, с Vn до V_c:

$$Q_c = F*V_c \qquad (8)$$

Результаты расчета расхода прорывного потока по упрощенному методу, с применением формул 5-8, приведены в таблице 1.2.3.

Таблица 1.2.3. Параметры расходов прорывных потоков

№ п/п	Название озера, год его прорыва	h_c, м	hк, м	L*n, м	F,м^2	Vn, м/с	Qn, м^3/с	P	V_c м/с	Q_k, м^3/с
1	Текетор, 1952	25	50	440	5	21.7	108	0,114	2,5	12
2	Тезтор, 1953	7	85	479	10	11,7	117	0,177	2,1	21
3	Топ-Карагай, 1974	20	200	1650	3	19,8	59	0,1	2	6
4	Чоктал-1, 1977	15	30	154	10	17,1	171	0,195	3,3	33
5	Тегермеч, 1978	15	80	520	12	17,1	205	0,154	2,6	32
6	Кейдыкучкач, 1983	8	94	388	15	12,3	184	0.242	3	45
7	Суюктор, 1985	10	95	677	10	13,7	137	0,140	1,9	29
8	Тезтор, 1988	11	8	122	10	14,4	144	0.066	0,9	14
9	Такыр-Тор, 1991	20	70	550	6	19,8	119	0,127	2,5	15
10	Джалпак-Тор, 1993	7	60	116	10	11.5	115	0,517	3,5	59
11	Чоктал-2, 1999	15	80	385	3	17,1	51	0,208	3,6	11
12	Тез-Тор, 2005	12	80	480	3	15,3	46	0,167	2,6	8
13	Зындан, 2008	10	50	220	8	14,0	112	0,227	3,2	25
14	Такыртор, 2009	15	70	550	6	17,1	102	0,127	2,2	13
15	Тезтор, 2012	12	45	150	6	15.0	90	0,3	4,5	27
16	Челектор,2017	10	120	1320	15	14,0	210	0,091	1,3	19
17	Тезтор, 2018	12	60	330	3	15,0	45	0,182	2,7	8

Результаты анализа значений расходов прорывных потоков, рассчитанных по методу Керемкулова-Цукермана, вызывают сомнения в их реальности. Полевые наблюдения за прорывными потоками и их реконструкция по оставленным ими следам, доказывают, что величина их расходов, приведенная в таблице 5.2, является завышенной. Для сравнения значений расходов прорывных потоков, рассчитанных по традиционному методу и новому упрощенному методу, построена таблица 1.2.4.

Таблица 1.2.4. Сравнение прорывных расходов расчитанных разными методами

№ п/п	Название озера, год его прорыва	h_c, м	hк, м	L*n, м	F,м^2	Qn, м^3/с	$Q_т$, м^3/с	Q_k, м^3/с	$Q_в$, м^3/с
1	Текетор, 1952	25	50	440	5	108	54,5	12	500
2	Тезтор, 1953	7	85	479	10	176	59	21	250
3	Топ-Карагай, 1974	20	200	1650	3	59	50	6	-
4	Чоктал-1, 1977	15	30	154	10	171	72	33	300
5	Тегермеч, 1978	15	80	520	12	205	59	32	600
6	Кейдыкучкач, 1983	8	94	388	15	368	71	45	500
7	Суюктор, 1985	10	95	677	10	206	54	29	300
8	Тезтор, 1988	11	8	122	10	216	54	14	-
9	Такыр-Тор, 1991	20	70	550	6	119	54,5	15	300
10	Джалпак-Тор, 1993	7	60	116	10	67	101	35	300
11	Чоктал-2, 1999	15	80	385	3	51	71	11	-
12	Тезтор, 2005	12	80	480	3	46	60	8	-
13	Зындан, 2008	10	50	220	8	112	70	25	250
14	Такыртор, 2009	15	70	550	6	102	53	13	200
15	Тезтор, 2012	12	45	150	6	90	79	27	300
16	Челектор,2017	10	120	1320	15	210	43,5	19	200
17	Тезтор, 2018	12	60	330	3	45	63	8	-

В таблице 1.2.4.: Qn – расход прорывного потока, м^3/сек., при входе в канал подземного стока, который обычно представлен внутри моренно-ледниковым гротом (рис. 1.13.);

$Q_т$ - расход прорывного потока при выходе из подземного канала стока, м^3/сек., рассчитанный по традиционному методу Керемкулова-Цукермана;

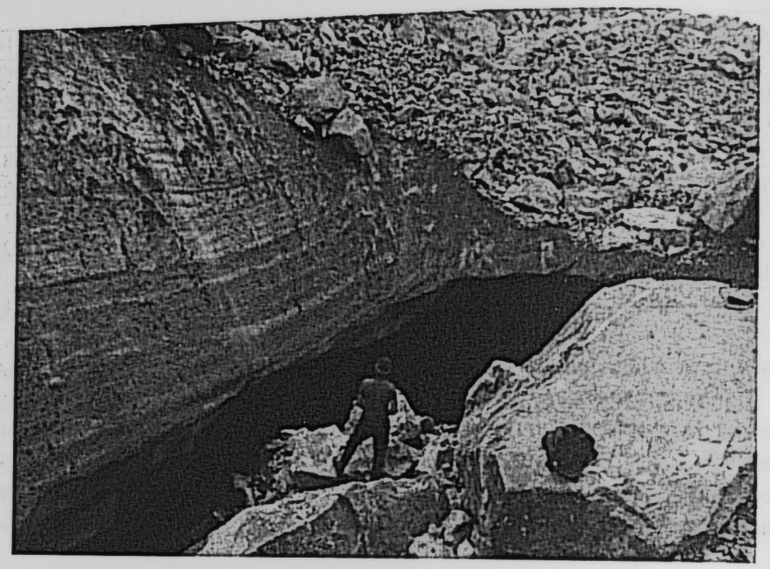


Рис.1.13.Вход в подземный канал стока на озере Челектор в бассейне реки Нооруз представлен глубоким ледниковым гротом

Q_k - расход прорывного потока при выходе из подземного канала стока, $м^3$/сек., рассчитанный по новому упрощенному методу;

Q_s – расход селевого потока после трансформации в него селевого потока, $м^3$/с.

Анализ данных, приведенных в таблице 1.2.4., показывает, что более реальными являются значения расходов прорывных потоков, рассчитанных более простым приближенным методом. Доказательством этого вывода являются следующие заключения:

1) расход прорывного потока на входе в прорывной канал стока - Qп, не может быть меньше величины этого расхода на выходе из этого канала - $Q_т$, так как гидравлические сопротивления значительно уменьшают его значение, т.е. Qп должно быть больше $Q_т$: Qп > $Q_т$. Поэтому рассчитанные по традиционному методу Керемкулова-Цукермана расходы прорывных потоков при прорывах озер Джалпак-Тор (1993), Чоктал-2, (1999), Тез-Тор (2005), Тезтор (2018) никак не могут быть реальными, так как их значение $Q_т$ превышает Qп: Qп < $Q_т$ (см. табл.2.2.4);

2) в процессе прорывов озера Тезтор в 1953 и 2012 гг прорывные потоки трансформировались в селевые потоки тогда, когда значение расхода $Q_т$ на выходе из прорывного канала составило 59 и 79 $м^3$/сек, соответственно. т.е расчетный расход прорывного потока должен быть близким к 59 $м^3$/сек или превышать его, чтобы образовался селевой поток. При прорывах этого же озера в 1988, 2005 и 2018гг расходы прорывных потоков $Q_т$ составили 54, 60 и 63 $м^3$/сек, соответственно, т.е. они были близки или превышали 59$м^3$/сек. Однако при таких не малых расходах прорывных потоков никакой их трансформации в селевые потоки не произошло. Следовательно, значения величины $Q_т$ завышены и не отражают реальности. Более реальными представляются значения Q_k, которые показывают, что селевые потоки образуются, если расходы прорывных потоков при прорыве озера Тезтор составят 21 (прорыв 1953 г.) или 27 (прорыв 2018 г.) $м^3$/сек. При расходах прорывных потоков 14 (прорыв 1988г.),

8 (прорыв 2005г.) и 8 (прорыв 2018 г.) селевые потоки не образуются. Поэтому расходы прорывных потоков Q_k, рассчитанные новым упрощенным способом являются более реальными, чем расхода $Q_т$, рассчитанные традиционным методом;

3) при прорыве озера Чоктал-1 рассчитанный по традиционному методу расход прорывного потока составил $Q_т$ = 72 $м^3$/сек. Этого расхода оказалось достаточно для его трансформации в селевой поток ниже по долине. При прорыве этого же озера в 1999г расход прорывного потока был почти таким же $Q_т$ = 71$м^3$/сек., однако никакого селевого потока не было. Следовательно расход прорывного потока в 71-72 $м^3$/сек является завышенным, реальный расход был значительно ниже, как это и показывает расчет значения этого расхода по упрощенному методу: Q_k в 1977г составило 33 $м^3$/сек, а в 1999г - 11 $м^3$/сек, т.е.расход 1999 года был в три раза меньше чем расход 1977г, поэтому селевой поток в 1999г не образовался.

Вышеприведенные примеры доказывают большую реальность значений расхода прорывного потока, рассчитанного по упрощенному методу.

Прорывной поток воздействует на борта и кровлю канала стока. Характер этого воздействия, в основном эрозионно-размывающий, с добавлением термокарстового процесса. Если расход прорывного потока превышает некоторое критическое значение, то его воздействие на канал стока может оказаться настолько значительным, что начинается разрушение последнего. В этом случае начинаются просадки плотины озера вдоль канала стока, а на гребне плотинной перемычки образуется проран, через который происходит прорыв озера поверхностным путем. При таком варианте расход прорывного потока увеличивается до сотен кубических метров в секунду.

1.2.2. Прорыв озера поверхностным путем

Для прорыва озера поверхностным путем необходимо образование прорана в гребне плотинной перемычки. Причины появления прорана разные: 1) просадка участка гребня плотинной перемычки над подземным каналом стока; 2) размыв плотинной перемычки при переливе воды из озера. Прорыв озера поверхностным путем не всегда является продолжением подземного прорыва, но может сформироваться без участия подземных каналов стока; 3) просадки плотины при землетрясении. При поверхностном прорыве скорость потока не ограничена гидравлическими сопротивлениями подземных каналов стока, и поэтому достигает 3-5 м/сек, что способствует усилению эрозионного воздействия на плотину и разрушению последней. Большие скорости потоков, широкие и глубокие прораны стока (под эрозионным воздействием прорывного потока прораны углубляются и расширяются) обуславливают формирование мощных прорывных потоков расходом от нескольких сотен до нескольких тысяч кубических метров в секунду.

Для определения расхода поверхностного прорывного потока, в соответствии с Инструкцией по определению расчетных характеристик дождевых селей ВСМ 03-76 (1976) [10], применяется формула, хорошо отражающая модель прорыва завала поверхностным путем.

$$Q_в = K*B*H^{1,5} \quad (9)$$

- где: В - ширина прорывного потока в проране, м ; если проран заполнен водой на все сечение, то В - это ширина прорана на уровне гребней его бортов; Н – высота

подпертого горизонта воды над днищем прорана, м; если проран заполнен водой на все сечение, то H это глубина прорывного прорана (рис.1.14).

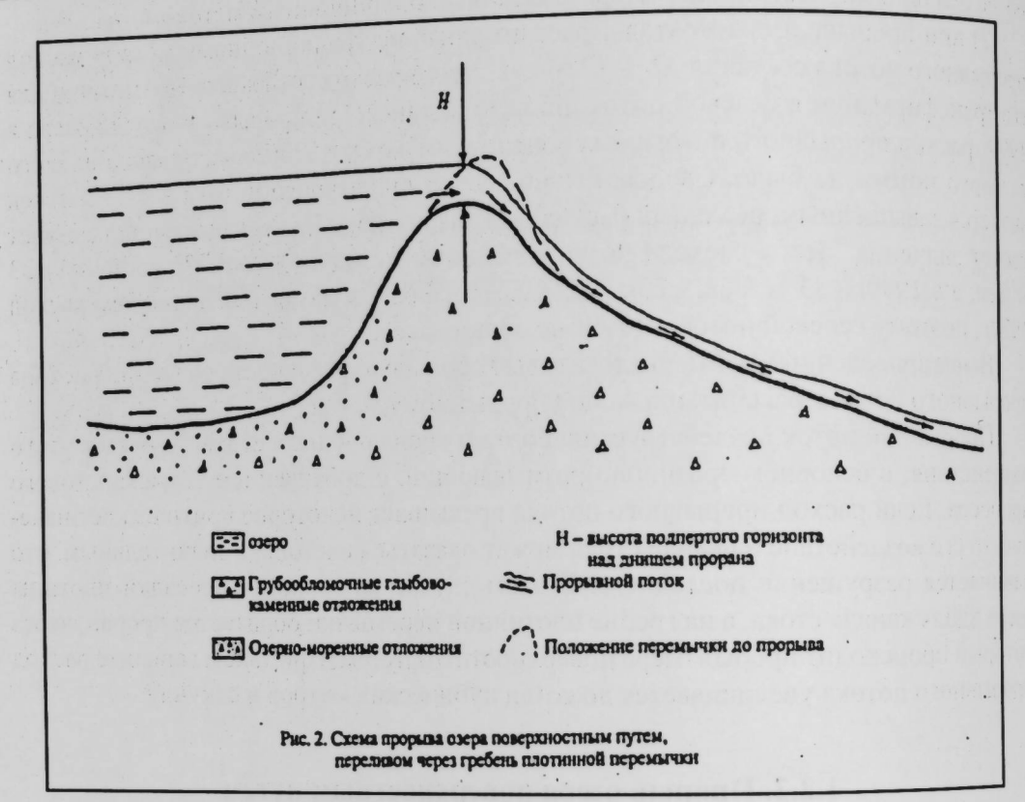


Рис. 1.14. Схематичный поперечный профиль плотины моренно-ледникового озера с переливом через гребень плотинной перемычки

Формула (9) может быть преобразована в другую форму:

$Q_в = V*F$, где $F= B'*H$, а $V= K*H^{0,5}$ (10)

где К – коэффициент, зависящий от формы живого сечения потока.

Для прямоугольного, параболического или треугольного сечения величина К равна 1,7; 1,0 и 0,6 соответственно). Для более точного определения значения величины К, применительно к условиям прорыва завальных и значительно реже моренно-ледниковых озер, была использована формула определения расхода водослива с широким незатопленным порогом (из Справочника по гидравлическим расчетам, 1972 [11]):

$Q = m*B*\sqrt{2g}*H^{3/2}$ (11)

где m – коэффициент расхода.

При неблагоприятных гидравлических условиях входа в прорывной проран (острые неровные входные ребра) значение m можно принимать равным 0,8 (по Н.Н.Павловскому. Из Справочника по гидравлическим расчетам, 1972 [11]).

Формулу (11), так же как и формулу (9) можно преобразовать в другую форму:

$Q_в = V*F$, где $F= B'*H$, а $V= m*\sqrt{2g}*H^{0,5}$ (12)

Из формул (10) и (11) составляется уравнение, решение которого позволит определить величину коэффициента К:

$V= K*H^{0,5}$ $V= m*\sqrt{2g}*H^{0,5}$ $K*H^{0,5} = m*\sqrt{2g}*H^{0,5}$ $K = m*\sqrt{2g} = 0,80*\sqrt{2}*9,8 = 3,54$ (13)

При известном значении коэффициента К формула (9) становится практически приемлимой для определения расхода прорывных потоков через прорывные прораны в плотинах озер:

$Q_в = 3,54*B*H^{1,5}$ (14)

Примеры определения расходов прорывных потоков некоторых горных озер по формуле (14) приводятся в таблице 1.2.5.

Таблица 1.2.5. Расчеты расходов прорывных потоков при опорожнении озер поверхностным путем

№ п/п	Название озера	Местоположение	Параметры прорывного потока			Расход потока Q, м³/сек
			К	Н,м	В,м	
1	Джалпактор-2 (возможен прорыв)	Бассейн р. Чирканак. Таласский хр.	3,54	3	6	110
2	Чоктал–1 (возможен прорыв в 1992г)	Бассейн р. Чоктал. Кунгей-Алатоо	3,54	5	10	396
3	Чоктал-2 (возможен прорыв)	Бассейн р. Чоктал Кунгей-Алатоо	3,54	2	15	150
4	Туюктор-2 (возможен прорыв)	Бассейн р. Тон Терскей-Алатоо	3,54	4	8	227
5	Чоктал-1 (возможный прорыв в 1977 г.)	Бассейн р. Чоктал Кунгей-Алатоо	3,54	1,5	15	98
6	Сокулук (озеро завальное, в случае прорыва оз. Кейды-Кучкач)	Бассейн р. Сокулук Кыргызский хр.	3,54	5	25	990
7	Сокулук (прорыв завального оз. Кейды-Кучкач, 1983 г.)	Бассейн р. Сокулук Кыргызский хр.	3,54	4,0	20	566 (в селе Сокулук-144)
8	Кольтор (возможен прорыв)	Бассейн р. Кегеты Кыргызский хр.	3,54	4,0	15	425
9	Ак-Кель (возможен прорыв)	Бассейн р. Мин-куш	3,54	6	15	780
10	Атджойлоо (возможен прорыв)	Бассейн р. Кегеты Кыргызский хр.	3,54	2	10	100

1.2.3. Прорыв озера по смешанному варианту

Сложный механизм прорыва морено-ледниковых озер по этому варианту изучен еще далеко не достаточно, чтобы можно было однозначно построить гидрограф возможного прорыва и определить расход прорывного потока. Однако по уже разработанным моделям прорывов озер морено-ледникового типа можно представить его схему, которая представляет развитие прорывного прорана в 5-ть этапов:

1. Этап А. Фильтрация воды из озера по зонам трещиноватости в глетчерном ядре и в ледсодержащей морене, и выклинивание воды на внешнем склоне плотины (рис.1.15.А, Б). Вдоль зоны фильтрации образуется талик, который под действием термокарстовых процессов преобразуется в туннель. Движение воды принимает струйную форму. Продолжительность этапа от нескольких дней до нескольких лет.

2. Этап Б. Развитие внутриледникового туннеля под действием протекающего через него водного потока. Сечение туннеля увеличивается до максимального предела, который определяется прочностью кровли туннеля (рис.1.15.В). Продолжительность этапа от нескольких дней до нескольких лет. Механизм формирования прорывного потока на этом этапе подобен варианту подземного прорыва. Значение его расхода определяется по формулам (5-8).

3. Этап В. Обрушение кровли туннеля и просадка гребня плотинной перемычки ниже уровня воды в озере. На посадочном участке образуется проран, через который устремляется вода из озера. Продолжительность этапа от долей часа до нескольких часов (рис.1.15.Г);

4. Этап Г. Расширение и углубление прорана под действием эрозии прорывного потока. По мере увеличения сечения прорана увеличивается расход прорывного потока. По своему механизму он близок к поверхностному варианту прорыва озера. Расход прорывного потока на этом этапе достигает своего пика. Его значение определяется по формуле (14). В конце этого этапа гидрограф прорыва переходит с подъема на понижение. Продолжительность этапа 1-3 сутки.

5. Этап Д. Расход прорывного потока начинает уменьшаться, что обуславливается уменьшением скорости эрозии прорана. Продолжительность этапа несколько суток.

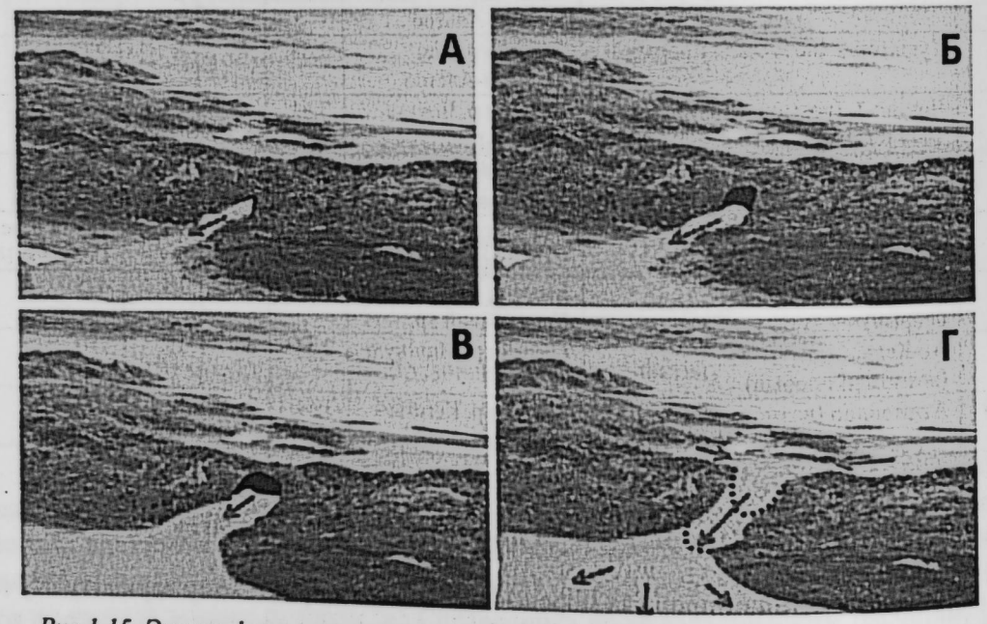


Рис.1.15. Этапы формирования прорывного прорана через плотинную перемычку при возможном прорыве Голубого залива озера Петрова в горном массиве Акшийрак

Для всех вышеуказанных вариантов прорывов можно сделать следующие обобщающие выводы:

1.Озера с подземным стоком более предрасположены к прорыву, чем озера с поверхностным и смешанным стоком.

2.Прорывоопасные озера всех типов при переходе от активной фазы развития к спокойной (пассивной) изменяет характер стока с подземного на поверхностный. При этом в 95% случаев озеро перестает быть прорывоопасным или «умирает».

1.3. Селевая опасность горных озер

На основе анализа причин, приведших к формированию наиболее крупных селевых и паводковых потоков, прошедших в горных долинах Северного Тянь-Шаня, можно сделать следующий вывод: прорывные потоки сами по себе особой опасности не представляют (за исключением прорыва завально-обвальных озер, типа прорыва озера Яшилькель в 1966 г.). С расходом в несколько десятков куб. метров в секунду прорывной поток может образовать более или менее крупный паводок по горной реке. Опасность прорывного потока многократно возрастает тогда, когда он трансформируются в селевой поток, значительно превышающий по своему расходу и разрушительной силе прорывной поток (рис.1.16).



Рис.1.16. Расход селевого потока, сформированного прорывом озера Тезтор 31.07.2012 г, на выходе из селевого очага Тезтор-Адыгене в долину Ала-Арча составлял около 300 м³/сек

В процессе изучения прорывоопасных озер выяснилось, его селевая опасность мало зависит от самого факта прорыва озера. В значительно большей степени, возможность трансформации прорывного потока в селевой поток, определяется селеформирующими факторами, характерными для горной долины, через которую проходит прорывной поток. Если условий к формированию селевых потоков в горной долине нет, то прорывной поток не станет селевым. Он может проявиться либо в виде наносоводного потока, либо в виде более или менее крупного паводка.

Прорывоопасные горные озера автоматически считались селеопасными потому, что прорыв небольшого озера, объемом в несколько десятков тысяч кубических метров, может привести к формированию селевого потока с объемом селевых выносов в

сотни и даже миллионы кубических метров. Можно считать прорывы озер своеобраз-
ным геологическим явлением, способным вызывать особо мощные, разрушительные
селевые потоки. Поэтому для оценки прорывоопасности озера необходимо, прежде
всего, определить возможность трансформации прорывного потока в селевой, так как
при этом многократно возрастает его расход и разрушительная мощность.

Участок долин, в котором сложились условия для трансформации прорывного
потока в селевой, определяется в селеведении особым термином – селевой очаг. От
других участков долины селевой очаг отличается своими особенностями, которые
обуславливают возможность трансформации проывного потока в селевой.

1.3.1. Селевые очаги

Морфологически селевые очаги представляют собой узкие и глубокие горные
ущелья с крутыми высокими бортами, сложенными рыхлообломочным неустойчи-
вым к размыву материалом с выходами крепких скальных пород. Днища ущелий
имеют крутизной 10-20^0 и выше завалены тем же склоновым рыхлообломочным ма-
териалом, вперемешку с отложениями горного потока, принесенными с верхних
участков долины (рис.1.17). В составе рыхлообломочного материала преобладают гли-
бово-каменные фракции. Длина селевых очагов изменяется от нескольких сотен мет-
ров до первых километров, высота бортов от нескольких десятков до первых сотен
метров.

Особую форму имеют селевые очаги, образованные на склонах уступов подвеса
ледниковых цирков и трогов. Это, так называемые, селевые врезы, селевые рытвины
или селевые лотки (рис. 1.18). Особенно глубокие врезы с крутыми бортами и
U-образным поперечным профилем получили название селевых оврагов (рис. 1.19).
Вверх по оврагу высота его бортов и ширина по их верхней кромке уменьшаются.



Рис. 1.17. Днища селевых очагов завалены грубообломочным материалом



Рис. 1.18. Селевой очаг Джалпактор–1 в долине реки Чирканак на северном склоне Таласского хребта



Рис. 1.19.Селевой очаг на склоне уступа подвеса троговой долины на левом борту долины реки Чон-Аксу в хребте Кунгей Алатоо имеет форму оврага

Формирование и развитее многих селевых очагов, зависит от прорывных потоков горных озер. По степени этой зависимости селевые очаги можно разделить на три группы.

1. Селевые очаги первой группы образовались в прошлом от действия прорывных потоков. Поскольку горные озера исчезли, и прорывы прекратились, развитие селевых очагов остановилось. Мощности ливневых потоков не хватает, чтобы активизировать их развитие. Это селевые очаги реликтовые, умирающие. Пример такого очага приведен на рис. 1.20.

2. Второй тип селевых очагов своим происхождением обязан прорывным озерам, которые уже исчезли, или возрождаются периодически (нестационарные озера). Однако развитие таких селевых очагов продолжается, благодаря ливневым потокам, мощности которых хватает для их трансформации в селевые потоки (рис. 1.21).



Рис.1.20. Реликтовая селевая рытвина, образованная прорывным потоком из озера Ангысай 24.07.1978г., на северном склоне хребта Терскей-Алатоо в бассейне реки Тон



Рис.1.21. Селевой очаг Такыртор продолжает развиваться под действием ливневых потоков

3.Селевые очаги третьего типа, в настоящее время, продолжают развитие как под действием прорывных потоков, которые их сформировали, так и при участии ливневых потоков (рис.1.22). Эти селевые очаги под воздействием прорывоопасных озер наиболее активно влияют на селеформирование в горных долинах.



Рис.1.22. Селевой очаг Тезтор (указан стрелками) продолжает свое активное развитие как под воздействием прорывоопасных озер, так и ливневых дождей

Таким образом, типизация селевых очагов позволяет дать оценку влияния прорывоопасных озер на селевую активность горных долин. Наиболее селеактивными являются те горные долины, в составе которых имеются селевые очаги третьего типа, активность которых обусловлена прорывоопасными озерами.

Главная опасность селевых очагов состоит в следующем:

они трансформируют водный поток в селевой, тем самым значительно увеличивают его разрушительную мощность;

они многократно увеличивают расход потоков и этим резко расширяют границы зоны поражения.

Поэтому основной задачей при оценке опасности селевых очагов является определение отношения расходов селевого потока и селеформирующего водного потока. По Ю.Б. Виноградову (1977) [12] мы обозначаем величину этого отношения символом S и называем коэффициентом мощности селевого очага.

Задачу по оценке опасности селевых очагов предполагалось решать по двум направлениям: морфологическому и литологическому, которые должны были затем соединиться в нескольких оценочных параметрах. По первому направлению оценка

проводилась по двум критериям: длина селевого очага и его крутизна. Эти критерии вошли в формулу по определению величины S (см. ниже).

По второму направлению таких четких критериев пока найти не удалось. Хорошо известно, что в селеформировании участвуют, в основном, отложения горных склонов и днищ тех боковых долин, в которых действуют временные водотоки. В процессе обследования селевых очагов все селеформирующие отложения были разбиты на инженерно-геологические фации по стратиграфо-генетическому принципу. В результате полевого обследования селевых очагов и анализа инженерно-геологических фаций установлено следующее:

Из склоновых отложений в селеформировании активно участвуют делювиальные, коллювиальные, пролювиально-делювиальные, оползневые, солифлюкционные отложения. Значительно менее активны отложения каменных потоков, горных обвалов, каменных глетчеров. Известны случаи, в долинах Янткунуш и Курортная, когда каменные потоки, сползающие по склону на днище долины, отбивали селевой поток к противоположному склону долины, не принимали участие в селеформировании, частично были завалены селевым грубообломочным материалом.

По активности селеформирования в отложениях днищ горных долин проявляется следующая тенденция: чем они более дифференцированы по размерам, сортированые и окатанные, тем менее подвержены селеформированию. Так к активно селеформирующим относятся моренные (гляциальные) и пролювиальные отложения, а аллювиальные отложения пассивны при селеформировании.

После прохождения селевых потоков на днище долины остаются селевые отложения, которые отличаются своим составом и строением от пролювиальных и аллювиальных. Они образуют своеобразную селевую фацию, которая со временем размывается и разносится водными потоками, перекрывается аллювиальным и пролювиальным материалом и уже не выделяется на инженерно-геологических картах как самостоятельная, а входит как составная часть в аллювиальные и пролювиальные отложения. Селевые отложения настолько перемешаны с аллювиальными, размыты и перекрыты последними, что выделить их на инженерно-геологических картах не представляется возможным. Поэтому выделяются как самостоятельная инженерно-геологическая единица только молодые (свежие) селевые отложения, а более древние входят составными частями в другие инженерно-геологические подразделения.

Для подробной характеристики селеформирующих отложений используются такие параметры, как их плотность, содержание в составе их мелкозема песчаных, пылеватых и глинистых частиц, угол естественного откоса мелкозема в сухом состоянии и под водой. Однако, все эти параметры пригодные для оценки предрасположенности отложений к селеформированию, пока не удается учитывать при оценке опасности селевых очагов, так как их определение сложно технически и требует больших финансовых и материальных затрат.

Поэтому для решения задачи по оценке опасности обследованных нами селевых очагов были использованы простые модели Ю.Б. Виноградова [13] и Т.С. Степановой [14], основанные на уже известных морфологических параметрах селевого очага. В аналитические формулы, раскрывающие суть этих моделей, литологические параметры, входят в виде усредненных значений, отражающих состав и строение селеформирующих грунтов

По Ю.Б. Виноградову $$S = 1 + k \cdot L_c \ (1+\xi) \ \frac{tg\alpha}{tg\varphi} \sin\alpha \quad (15)$$

По Т.С. Степановой $$S = 1 + \frac{C_T}{1-(1+\xi)\cdot C_T} \quad (16)$$

В формулах (15) и (16) приняты следующие обозначения и зависимости:

где L_c – селеформирующая длина селевого очага. Длина селевого очага определяет поступление обломочного материала в селевой поток. Однако, на скальных участках бортов и днища селевого очага такие поступления почти отсутствуют, поэтому скальные участки должны быть исключены из селевого процесса, иначе величина S окажется завышенной. Чтобы учесть влияние скальных участков нами вводится коэффициент скальности селевого очага. Его величина определяется по формуле $n = \frac{l_{ск.}}{L}$ (17)

где $l_{ск.}$ - длина скальных участков в селевом очаге, м; L - общая длина селевого очага. Тогда $L_c = L - l_{ск.}$ или $L_c = (1-n)/n * l_{ск.}$.

k – коэффициент, отражающий приращение твердого вещества, по мере продвижения селевого потока вдоль селевого очага;

ξ – относительная влажность; $\xi = \frac{Q}{1-\varepsilon}$; Q – объемная влажность; ε - пористость селеформирующих грунтов.

α - угол наклона селеформирующих отложений, в среднем равен углу наклона днища долины;

φ - угол внутреннего трения селеформирующих отложений;

C_T – концентрация твердого материала в селевой смеси; значение C_T определяется по уравнению Такахаши-Багнольда [14].

$$tg\alpha = \frac{C_T(\rho_T - \rho_o)tg\varphi}{C_T(\rho_T - \rho_o) + \rho_o} \quad (18)$$

Преобразованное относительно C_T оно принимает следующий вид:

$$C_T = \frac{\rho_o \cdot tg\alpha}{(\rho_T - \rho_o)(tg\varphi - tg\alpha)} \quad (19)$$

ρ_o - плотность воды, ρ_o=1000 кг/м^3;

ρ_T - плотность твердого вещества селевой массы, в среднем ρ_T=2716 кг/м^3 (по данным анализов полевых проб в долине реки Чон-Каинды на северном склоне Кыргызского хребта).

Согласно формулам (15) и (16) мощность селевых очагов оценивается двумя параметрами: его длиной - L_c и уклоном - C_T (величина C_T рассчитывается через уклон по формуле (19).

В процессе полевых работ выполнялись полевые и лабораторные определения некоторых параметров физико-механических свойств селеформирующих отложений. В результате были получены следующие результаты:

1. Определение угла внутреннего трения селеформирующих отложений - φ. Значение φлабораторных определений очень близко к значению φ (равному 35^0) широко применяемому для расчетов в системе «Казселезащиты». Поэтому в наших расчетах использовалось значение φ равное 0,7.

2. Определение относительной влажности - ξ. Непосредственно в полевых условиях она не определялась. В данных лабораторных анализов имеется лишь значение влагоемкости селеформирующих отложений по долине Чон-Каинды на северном склоне Кыргызского хребта, равное в среднем 0,14. Специалистами «Казселезащиты» рекомендуется принимать значение относительной влажности ξ равным 60 % от влагоемкости. Тогда величина ξ составит 0,14·0,6=0,084, принимаем 0,08.

3. Определение удельного веса - γ было проведено в лабораторных условиях по 79 пробам, взятым в долине реки Чон-Каинды. Среднее значение γ составило 2,720 кг/м^3.

4. Самым проблематичным параметром в формуле (4) является коэффициент k, отражающий степень насыщения рыхлообломочным материалом потока при его движении вдоль селевого очага. Данные Ю.Б. Виноградова [13] показывают, что коэффициент k изменяется от 0,037 до 0,051, а его среднее значение составляет 0,041. Это же значение применялось расчетах по определению величины – S.

5. Определение морфологических параметров селевых очагов L, α и коэффициента скальности –n, проводилось в процессе маршрутного обследования селевых очагов: 1)фиксировалась начальная и конечная высоты каждого очага; 2) замерялась длина скальных участков; 3) проводились замеры уклонов днища отдельных участков селевого очага, а затем рассчитывался средний уклон. Всего обследовано 17 селевых очагов. Данные обследования приводятся в нижеследующей таблице 1.3.1.

Таблица 1.3.1. Морфологические параметры селевых очагов и коэффициент скальности

№ п/п	Название селевого очага	Высота начала селевого очага, м, $h_н$	Высота окончания селевого очага, м, $h_о$	Превышение начала над окончание $h=h_н-h_о$	Длина селевого очага			Уклон, $i=\frac{\Delta h}{L}$	Коэффициент скальности, $n=\frac{l_{ск.}}{L}$
					общая, L	селеформирующая, $L_с$	скальн. Участков $l_{ск.}$		
1	Тез-Тор	3100	2577	523	1450	1305	145	0,36	0,1
2	Адыгене	2577	2100	477	1500	1425	75	0,23	0,05
3	Топ-Карагай	3100	2600	500	1250	62	1188	0,40	0,05
4	Акпай	2600	1900	700	3250	2925	325	0,22	0,1
5	Ашутор	2246	2000	246	650	650	0	0,38	0
6	Чирканак	3200	2100	1100	4500	900	3600	0,24	0,2
7	Кашкасу	3280	2480	800	2325	2092	233	0,34	0,1
8	Иша	2110	1980	130	800	720	80	0,16	0,1
9	Туюк-Иссыкатинский	1760	1640	120	720	612	108	0,17	0,15
10	Теке-Тор	3300	2250	1050	3050	1830	1220	0,34	0,4
11	Курортный-1	3200	1800	1400	4500	3255	1245	0,31	0,3
12	Янткунуш	2800	1860	940	2250	1800	450	0,42	0,2
13	Аксай	3100	2780	320	1200	720	480	0,27	0,4
14	Кейды-Кучкач	3475	2500	975	2600	1560	1040	0,38	0,4
15	Чоктал-нижн.	2480	2250	230	1700	1700	0	0,14	0
16	Чон-Каинды-верхн.	3426	3300	126	340	340	0	0,37	0
17	Курортный-2	2700	2100	600	1400	980	420	0,43	0,3

Таким образом, все параметры необходимые для расчета величины S по формулам (15) и (16) определены.

В нижеследующей таблице 1.3.2 приводятся данные расчета величины S.

Таблица 1.3.2. Данные расчета величины S

№	Название селевого очага	Морфологические параметры селевого очага				Параметры селеформирующих отложений				Значение S	
		общая длина, L, м.	селеформирующая длина, $L_с$, м.	уклон, tg α	уклон, sin α	ξ	tg φ	Ст	ρт	По (15)	По (16)
1	Тез-Тор	1450	1305	0,36	0,34	0,08	0,7	0,61	2,72	11,1	2,8
2	Адыгене	1500	1425	0,23	0,23	0,08	0,7	0,28	2,72	5,8	1,4
3	Топ-Карагай	1250	1188	0,40	0,37	0,08	0,7	0,77	2,72	7,9	5,5
4	Акпай	3250	2925	0,22	0,22	0,08	0,7	0,27	2,72	9,0	1,4
5	Ашутор	650	650	0,38	0,36	0,08	0,7	0,69	2,72	6,6	3,8
6	Чирканак	4500	3600	0,24	0,23	0,08	0,7	0,30	2,72	9,8	1,4
7	Кашкасу	2325	2092	0,34	0,32	0,08	0,7	0,55	2,72	15,4	2,4
8	Иша	800	720	0,16	0,16	0,08	0,7	0,17	2,72	2,2	1,2
9	Туюк-Иссыкатинский	720	612	0,17	0,17	0,08	0,7	0,19	2,72	2,1	1,3
10	Теке-Тор	3050	1830	0,34	0,32	0,08	0,7	0,55	2,72	13,6	2,3
11	Курортный-1	4500	3150	0,31	0,30	0,08	0,7	0,46	2,72	13,0	1,9
12	Янткунуш	2250	1800	0,42	0,39	0,08	0,7	0,87	2,72	13,0	15,5
13	Аксай	1200	720	0,27	0,26	0,08	0,7	0,36	2,72	3,2	1,2
14	Кейды-Кучкач	2600	1560	0,38	0,36	0,08	0,7	0,69	2,72	10,4	3,8
15	Чон-Каинды-верхн.	340	340	0,37	0,35	0,08	0,7	0,65	2,72	2,9	3,2
16	Чоктал	1700	1700	0,14	0,14	0,08	0,7	0,15	2,72	2,5	1,2
17	Курортный-2	1400	980	0,43	0,40	0,08	0,7	0,93	2,72	11,7	15,5

Результаты расчетов величины S показывают, что по 1-ому варианту значения S значительно превышают таковые 2-го варианта (за исключением селевого очага Чон-Каинды-верхн.). Это не случайно. Анализ формул (15) и (16) объясняет такое расхождение. Для того, чтобы понять его суть необходимо представить механизм селеформирования. На 1-ом этапе водный поток, двигаясь через селевой очаг, насыщается обломочным материалом. Уравнение Такахаши-Багнольда (1) показывает, что степень насыщения ограничена уклоном днища долины: чем выше уклон, тем больше величина Ст. На этом этапе приращение расхода потока происходит за счет насыщения потока обломочным материалом. Степень насыщения отражается уравнением –

(19), а увеличение расхода формулой – (16). Наступает момент, когда насыщение становится предельным, т.е. величина C_T достигает предельного значения. Однако, селевой очаг еще не закончился, движение потока по нему продолжается и в селеформирование вовлекаются все новые и новые массы отложений, слагающих борта и днище селевого очага. Это 2-ой этап селеформирования. Расход потока на 2-ом этапе увеличивается за счет вовлечения в поток новых масс обломочного материала. При этом рост концентрации потока обломочным материалом не происходит, так как C_T уже максимальное. На 2-ом этапе селеформирования увеличение расхода селевого потока зависит от длины селевого очага, а не от его уклона, как на 1-ом этапе. Эта зависимость отражается формулой (4), в которую входит очень важный параметр – L_c. Чем длиннее селевой очаг, тем больше значение S, рассчитанное по 1-ому варианту. Если же селевой очаг короткий и его длины не достаточно для развития селевого процесса, то увеличение расхода не достигнет даже того максимума, который возможен на 1-ом этапе селеформирования. Поэтому на сравнительно коротком селевом очаге Чон-Каинды-верхний величина S, рассчитывая по1-ому варианту, меньше чем S, рассчитанная по 2-ому варианту. Схема селеформирования на этом селевом очаге следующая: водный поток входит в селевой очаг, начинается насыщение обломочным материалом, расход возрастает. Его расход может возрасти в 3,2 раза до максимального насыщения обломочным материалом (C_T=0,65). Но селевой очаг короткий и его длины хватает на то, чтобы его расход увеличился лишь в 2,9 раза. На остальных селевых очагах увеличение расхода превышает то значение, которое возможно за счет насыщения водного потока рыхлообломочным материалом.

Коэффициент мощности селевого очага - S отражает геологические свойства селевого очага: морфологию, литологию, состав и строение отложений. Он показывает способность селевого очага к селеформированию. Однако он не отражает сам селевой поток, который формируется двумя составляющими: геологической и гидрологической. Если геологическая часть селевого потока образуется в селевых очагах, то гидрологическая на территории всего селесбора и зависит от климатических условий целого горного региона. Чтобы понять, как формируется водный поток, который, двигаясь вниз по долине, может трансформироваться в селевой, а может так и остаться паводком, необходимо изучить всю горную долину.

1.3.2. Оценка селевой активности горных долин

Каждая крупная долина разветвляется на ряд боковых долин, поэтому каждую боковую долину необходимо рассматривать как отдельный участок формирования и проявления селевых потоков. По аналогии с терминами, характеризующими элементы речного стока, водосборами и снегосборами, можно назвать каждый такой селевой участок селесбором. Таким образом, каждая боковая долина будет представлять собой селесбор. По своей предрасположенности к селефомированию, активности селевых процессов селесборы разделяются на 6 типов. В качестве наглядного примера расчленения крупной долины на селесборы различных типов приводится долина реки Ала-Арча (рис. 1.23) Типизация селесборов необходима для оценки селевой активности главных горных долин, которые будут указываться в селевых прогнозах.

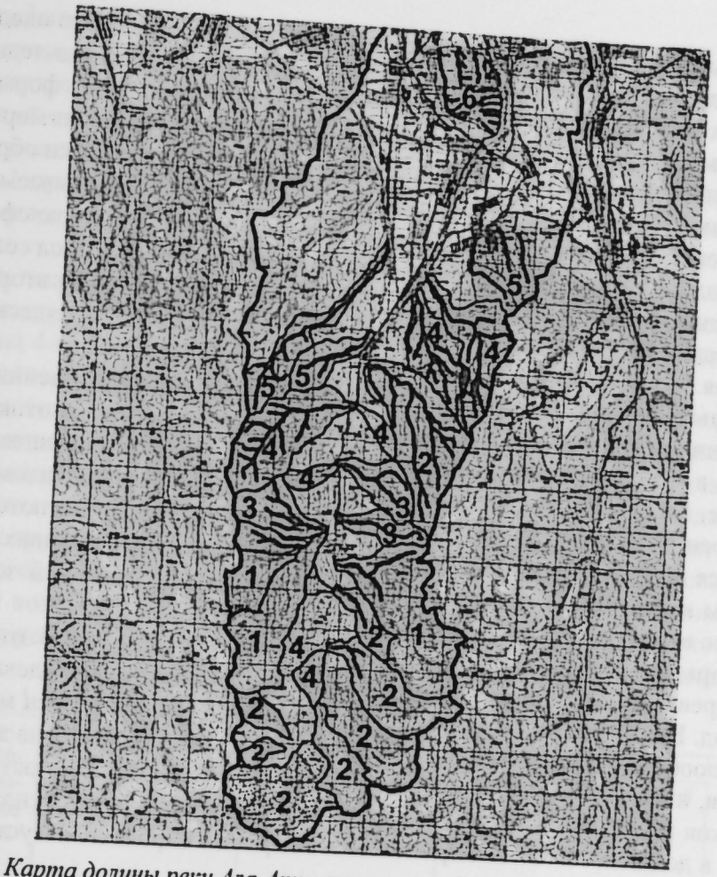


Рис.1.23. Карта долины реки Ала-Арча, расчлененной на селесборы различных типов

Селесборы 1-го типа. Крупные долины с современным оледенением представлены долинными, присклоновыми и склоновыми ледниками, способными формировать мощные потоки талых ледниковых вод за счет прорыва внутриледниковых емкостей. При своей деградации, в условиях современного изменения климата, ледники формируют моренно-ледниковые комплексы, на которых образуются озера моренно-ледникового типа. Их прорывы трансформируются в мощные селевые потоки, представляющие значительную опасность для жителей этих долин и подгорных равнин. Период селевой активности в этих долинах продолжается всего три летних месяца, а пик активности приходится на вторую половину июля - первую половину августа.

Селесборы 2-го типа. Крупные долины с современным оледенением, представленным долинными ледниками с мощными конечно-моренными образованиями, типа каменных глетчеров, которые дозируют сток талых ледниковых вод и тем самым блокируют развитие селевых процессов. Однако в отдельных долинах боковых притоков могут формироваться локальные селевые потоки ливневого генезиса. Это может происходить в мае-июне, кода сезонное снеготаяние совпадает с выпадением ливневых или продолжительных (3-4 дня) дождей. В последние годы, в связи с изменением климата, в некоторых долинах этого типа стали появляться прорывоопасные озера. В этом случае меняется тип долины с Б на А.

Селесборы 3-го типа. Крупные долины с останцами современного оледенения, в виде деградирующих склоновых ледников. Современные моренно-ледниковые комплексы находятся в затухающем режиме развития и не способны формировать прорывоопасные озера. Днища в верховьях долин заполнены, конечно-моренными, отложениями плейстоценовых и голоценовых ледников. Селевые потоки образуются после ливневых дождей. Селеформированию способствует легко размываемые отложения современных и древних морен, которые активно участвуют в трансформации прорывного водного потока в селевой поток высокой плотности. Период селевой активности начинается в этих долинах в мае, достигает своего апогея во второй половине июня-первой половине июля. Затем селевая потоков сохраняется здесь до середины сентября.

Селесборы 4-го типа. Долины со следами плейстоценового оледенения, с останцами отложений плейстоценовых морен в своих верховьях. Селевые потоки формируются здесь в результате трансформации водных дождевых (чаще ливневых) потоков в селевые, посредством его насыщения рыхлообломочным материалом плейстоценовых морен. В результате такой трансформации расход селевого потока может увеличиваться до 100 м^3/сек. Период селевой активности в этих долинах связан со снеготаянием и весенними дождями мая-июня (июнь в высокогорной зоне (выше 3000 м) более весенний чем летний месяц).

Селесборы 5-го типа. Долины в зонах среднегорья и низкогорья. В этих долинах нет следов древнего оледенения. Они выработаны эрозией потоков дождевых и талых снеговых вод. В процессе своего движения вниз по долинам эти потоки могут насыщаться рыхлообломочным материалом, осыпающимся и оползающим на дно долины с её склонов, и трансформироваться в селевые потоки высокой плотности. Расходы таких потоков могут достигать несколько десятков куб. метров в секунду. Селевая активность в долинах этого типа проявляется в период с апреля по август, с апогеем в мае-июне.

Селесборы 6-го типа. Долины предгорной зоны, окаймляющей горные хребты Тянь-Шаня. На юге Кыргызстана она имеет название «зона адыров», а на севере «зона прилавков». В этой зоне господствуют аридные условия климата, пустынный и полупустынный ландшафты с густой эрозионной сетью на склонах возвышенностей; местами встречаются участки рельефа типа бедленд. Обычно, долины в этой зоне не имеют постоянных водотоков, поэтому их называют еще саями, сухими долинами. В таких долинах обломочного материала недостаточно для формирования селевых потоков высокой плотности, поэтому здесь обычно, после ливневых дождей, образуются наносоводные потоки, плотностью 1.1-1.4 г/см^3. Селеопасный период в этой зоне продолжается с марта по август, но пик селевой активности приходится на май-июнь.

Развитие селевых процессов зависит от двух групп основных факторов: геологических и гидрологические. Каждая группа факторов играет свою роль в формировании селевых потоков и от их совокупного действия зависит активность селевого процесса в каждой горной и предгорной долине.

Значительную роль в оценке селевой активности горных долин играет исторический фактор. Однако фиксация селевых потоков проводится в Кыргызстане эпизодически и зависит от степени катастрофичности селевого потока. Селевые потоки, не причинившие вред населению, обычно не заносятся в исторические хроники, хотя их

мощность бывает весьма значительной. Поэтому исторические данные о проявлениях селевых потоков в прошлом по той или иной долине необходимо дополнять натурными исследованиями селевых признаков в этой долине.

Каждый селевой поток оставляет следы, которые проявляются в различных признаках строения формируемой им долины, из множества которых выделяются три главных: 1)признаки в строении русла водотока; 2)признаки в строении руслового конуса выноса;3)признаки в составе отложений, слагающих днище горной долины.

В этих селевых признаках отражается действие всех вышеперечисленных геологических и гидрологических факторов селеформирования. По этим признакам можно оценить селевую активность горных долин Тянь-Шаня и разделить их по степени активности на 4-е категории: А, Б, В, Г (табл.1.3.3).

Из ряда селевых признаков, указанных в таблице 1.3.3, важнейшим является русловая отмостка. Она образуется в результате поступления в русло достаточно крупного обломочного материала преимущественно не аллювиального генезиса. Энергии водотока недостаточно для перемещения этого материала вдоль русла даже в период паводков, поэтому вдоль русла формируется каменная отмостка из плотно пригнанных один к другому валунов и крупной гальки. Так происходит в долинах, где почти отсутствует селевая активность. В этом случае между потоком и аллювиальными отложениями возможно динамическое равновесие, при котором фракционный состав транспортируемых наносов соответствует крупности русловых отложений.

Таблица 1.3.3. Селевые признаки долин

№ п/п	Категории горных долин по селевой активности	Селевые признаки в главной долине			Селевая активность
		в строении русла водотока	в строении устьевого конуса выноса	в составе отложений днища долины	
1	А	1)селевые гряды; 2)селевые ступени; 3)селевые перемычки; 4)отсутствие русловой отмостки.	1)глыбово-каменные валы и языки; 2)селевые ложбины; 3)глыбовые россыпи; 4)миграция русла по поверхности конуса.	1)навалы крупных обломков вдоль берегов русла; 2)отложения инстративного и перстративного аллювия; 3)селевая фация аллювия.	Весьма активные
2	Б	1)глыбово-валунно-каменная русловая отмостка; 2)галечно-гравийно-песчаная пойма; 3)уступы подреза берегов.	1)конус выноса расчленен врезом русла на глубину 5-25м; 2)поверхность конуса хорошо задернована.	1)уменьшение крупности обломочного материала от стрежня русла к берегам; 2)отложения перстративного аллювия с содерж. селевых наносов;	Малоактивные
3	В	1)отсутствие русловой отмостки; 2) селевые ступени;	1)миграция русла по поверхности конуса;	1)слоистые отложения перстративного и инстративного аллювия; 2)селевая фация аллювия	Активные

		3)уступы подреза берегов.	2)глыбово-каменные валы и языки.		
4	Г	1)отсутствие русловой отмостки; 2)гравийно-суглинистая пойма	1)выпуклый продольный профиль; 2)разветвленная сеть распластанных по конусу русел временных водотоков;	1)пролювиальные отложения; 2)отсутствие сортировки наносов; 3)отсутствие зависимости между крупностью обломков и продольным уклоном долины; 4)суглинистый и супесчаный заполнитель.	Активные

В селе активных долинах, где паводки часто формируются из селевых потоков, в процессе их распада, русловая отмостка не образуется. Это обусловлено тем, что селевые паводки имеют повышенную плотность, которая придает им эрозионную энергию достаточную, чтобы взломать русловую отмостку на всем протяжении крупных долин. Поэтому строение русла в селеактивных долинах отличается отсутствием руслового отмостки. Вместо плотно пригнанных валунов, выстилающих русловое ложе, в русле селеактивных долин наблюдаются валунно-галечные ступени, навалы валунов, подрезы бортов русла.

Другим важным селевым признаком является состав русловой фации аллювия. В селеактивных долинах категории А и В русловой аллювий представлен, в основном инстративным типом, а на участках расширений, выше конусов выноса боковых долин, перстративным типом. Для первого типа характерны небольшая мощность (несколько метров), плохая сортировка и обработка обломочного материала. Перстративный аллювий (перестилаемый) представляет собой слоистые отложения с хорошо обработанным обломочным материалом, мощностью первые десятки метров. В долинах категории Б преобладает перстративный тип руслового аллювия, меньше развит констративный аллювий, значительную роль играет пойменный аллювий. В предгорных долинах категории Г днище выстилают пролювиальные отложения временно действующих потоков.

Для долин каждой категории характерен свой комплекс типов селесборов, составляющих эти долины, и определяющих не только их селевую активностью, но и типы селевых потоков, их мощность, периоды селевой активизации (табл.1.3.4).

Таблица 1.3.4. Типы селесборов

№ п/п	Категории долин	Типы селесборов в долинах	Селевая активность	Зоны формирования селевых потоков	Типы селевых потоков	Мощность селевых потоков, расход, $м^3$/сек	Селеактивный период	Пик селевой активности
1	А	1-4	Весьма активные	высокогорная	1)грязекаменные плотностью 1.8-2,2г/$см^3$; 2)наносоводные плотностью 1.1-1,4г/$см^3$.	от 100 до 1000	июнь-август	третья декада июля – первая декада августа
2	Б	2-4	Малоактивные	высокогорная	1)грязекаменные плотностью 1.8-2,2г/$см^3$;	10-100	июнь – август	вторая половина июля –

					2)грязевые плотностью 1.4-1,8г/$см^3$; 3)наносоводные плотностью 1.1-1,4г/$см^3$.			первая половина августа
3	В	4-5	Активные	средне-низкогорная	1)грязевые плотностью 1.4-1,8г/$см^3$; 2)наносоводные плотностью 1.1-1,4г/$см^3$.	10-200	май-сентябрь	июнь-июль
4	Г	6	Активные	предгорная	1)наносоводные плотностью 1.1-1,4г/$см^3$; 2) грязевые плотностью 1.4-1,8г/$см^3$.	3-8	апрель-июнь	май

Разделение горных долин на категории позволяет дифференцировать горные и предгорные территории по их предрасположенности к селеформированию, отразить эту дифференциацию на карте (рис.1.24) и использовать её для построения селевого прогноза, как критерий, определяющий место проявления селевого потока.

Селеактивность горных долин изменяется в процессе её развития. Деградация ледников приводит к появлению разнообразных типов моренно-ледниковых комплексов, которые играют важную роль в формировании селевых потоков, так как через них проходят потоки талых ледниковых вод. На поверхности моренно-ледниковых комплексов образуются прорывоопасные озера, так как их плотины на 40-60% состоят из неустойчивых погребенных льдов. Прорывные потоки дают начало мощным катастрофически опасным селевым потокам.

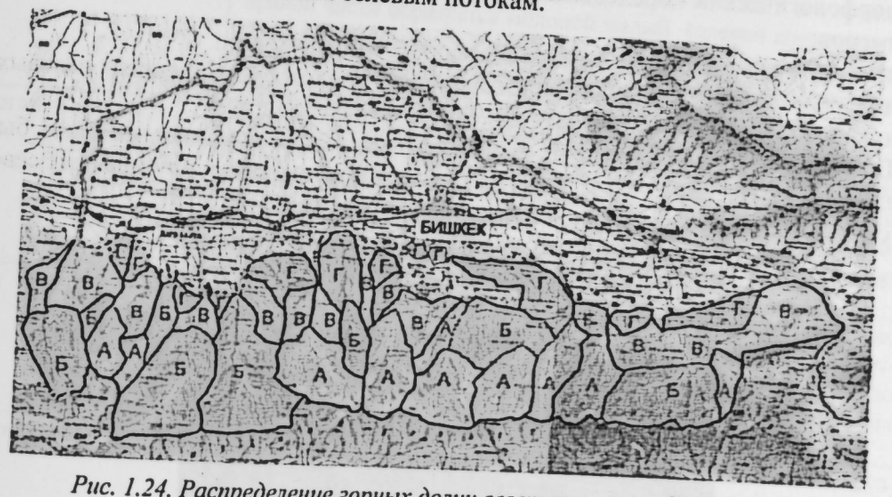


Рис. 1.24. Распределение горных долин северного склона Кыргызского хребта по категориям селевой активности

1.3.3. Оценка влияния современного моренообразования на селевую активность горных долин

Действие селевых потоков, их мощность и динамика наиболее четко проявляются в структуре, строении, составе конусов выноса устьевых конусов выноса.

Селевой конус выноса – это одна из разновидностей своеобразного типа новейших геологических образований, которые представляет собой геологическое тело аккумулятивной формы в виде полуконуса, образованное на месте резкого уменьшения

уклона продольного профиля долины. На этом участке горный поток теряет силу и отлагает несомые им наносы (влекомые и взвешенные), которые и формируют конус выноса. Чаще всего местом образования конусов выноса являются устьевые участки горных рек.

Каждый селевой поток оставляет свой след в формировании своего конусе выноса. Этот след может проявляться по различным признакам: морфологическим, литологическим, дендрохронологическим, лихонометрическим и другим. Изучение этих признаков (назовем их селевыми) позволяет в той или иной точностью проследить изменение селевой активности в горной долине на протяжении длительного периода формирования и развития этих конусов.

Задача данной работы проследить изменения селевой активности в горной долине за последние 100-150 лет. На основе анализа селевых признаков в строении их конусов выноса показать особенности режима селеформирования в каждой долине и доказать, что разнообразие селевой активности горных долинах зависит от особенностей современного моренообразования в этих долинах.

В процессе исследования применялись следующие методы:

- дешифрирование аэрофотоснимков прошлых лет,

-поиски информации о прошлых селевых потоках в долинах Аламедин и Ала-Арча в опубликованной, фондовой и архивной литературе [15];

-морфологический - обследование формы и параметров конусов с целью оценки их размеров;

-литологический с целью состава слагающих их отложений;

-дендрохронологический для определения дат прохождения прошлых селевых потоков по повреждениям деревьев: ели, арчи, березы [16-17].

Для оценки активности селевых процессов, в настоящее время и в прошлом, были обследованы конуса выноса в устьях 6-ти боковых притоков двух крупных рек северного склона Кыргызского хребта – Аламедин и Ала-Арча (рис. 1.25).

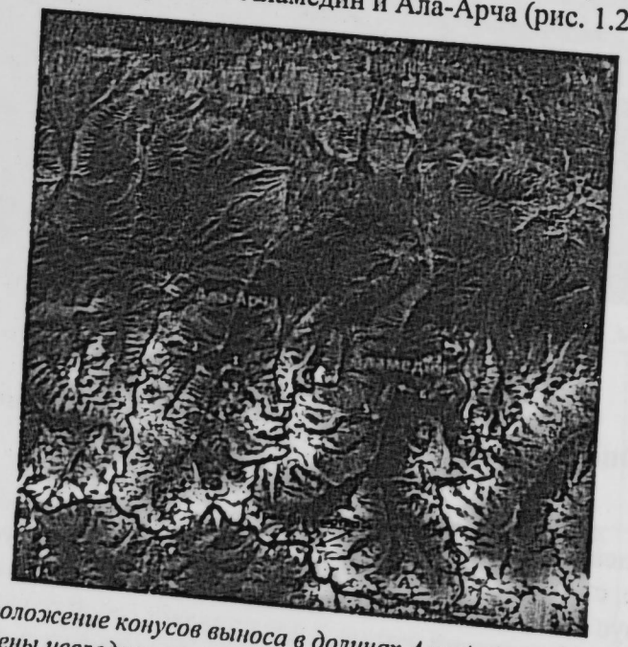


Рис.1.25. Местоположение конусов выноса в долинах Ала-Арча и Аламедин, на которых были проведены исследования для оценки селевой активности боковых долин:

1-Аксай; 2-Адыгене; 3-Текетор; 4-Топкарагай; 5-Кутургансу; 6 - Салык

В долине Ала-Арча были изучены селевые конуса в устьях боковых притоков Аксай, Адыгене, Текетор и Топкарагай. В долине Аламедин устьевые конуса выноса притоков Салык и Кутургансу. Эти долины типичные для Северного Тянь-Шаня. Они имеют современное оледенение. Реки этих долин имеют снежно-ледовое питание.

При маршрутном наземном обследовании поверхности наших конусов выноса были выявлены признаки активности селевых процессов в настоящее время или отсутствие таких признаков. Результаты обследования приведены в таблице 1.3.5.

Таблица 1.3.5. Признаки селевой активности в настоящее время

Название конуса выноса	Признаки
Адыгене	Современные селевые потоки охватывают 20% площади конуса выноса. Разветвленное селевое русло реки Адыгене с валами грубообломочного материала пересекает поверхность конуса выноса в его крайней левой части от его вершины до русла главной реки Ала-Арча.
Аксай	Современные селевые потоки охватывают 25% площади конуса выноса. На поверхности большого конуса выноса в его крайней правой части образуется молодой малый селевой конус выноса реки Аксай с валами и наносами грубообломочного материала. Он охватывает всю левую часть большого конуса выноса от вершины до русла главной реки Ала-Арча.
Кутургансу	Современные селевые потоки охватывают 20% площади конуса выноса. Широкое (60-100 м) селевое русло реки Кутургансу с валами и наносами грубообломочного материала пересекает поверхность конуса в его левой части от его вершины до главной реки реки Аламедин. В устье реки Кутургансу наблюдается формирование молодого селевого конуса выноса.
Салык	Признаки современных селевых потоков отсутствуют. Русло реки Салык (шириной 20-30м) выполнено глыбово-каменной отмосткой, которую не могут разрушить речные паводки. Русло реки Салык пересекает конус выноса от его вершины до русла главной реки – Аламедин.
Текетор	Современные селевые потоки охватывают 15% площади конуса выноса. На поверхности большого конуса выноса формируется молодой малый селевой конус выноса реки Текетор. Он охватывает центральный участок большого конуса выноса до его нижней части. В нижней части большого конуса выноса молодой селевой конус переходит в селевое русло, которое доходит до русла главной реки Ала-Арча.
Топкарагай	Признаки современных селевых потоков отсутствуют. Широкое русло реки Топкарагай пересекает конус выноса в его правой части близко к центральной осевой линии конуса. Русло выполнено обломочным материалом речных паводков. Русловой глыбово-каменной отмостки не наблюдается. Новые паводки могут разрушать и формировать новое русло.

По наличию или отсутствию признаков селевой активности на конусах выноса, выбранные для исследования долины разделяются на два типа:

1) селеактивные с многочисленными явными признаками действия селевых потоков в последние годы (рис.1.26). Это Акай, Адыгене, Текетор и Кутургансу. Конуса выноса этих долин можно отнести к первому типу и назвать его аксайским;

2) селепассивные долины. На их конусах выноса отсутствуют признаки действия селевых потоков в последние годы. Это Салык и Топкарагай. Русло реки Салык имеет устойчивую к эрозии глыбово-каменную отмостку (рис. 1.27). Русло реки Топкарагай выполнено обломочным материалом речных паводков. Селе пассивные конуса выноса можно объединить во второй тип конусов выноса под названием салыкский.



Рис.1.26. Селеактивный конус выноса Аксай. На поверхности большого конуса выноса в его крайней правой части образуется молодой малый селевой конус выноса

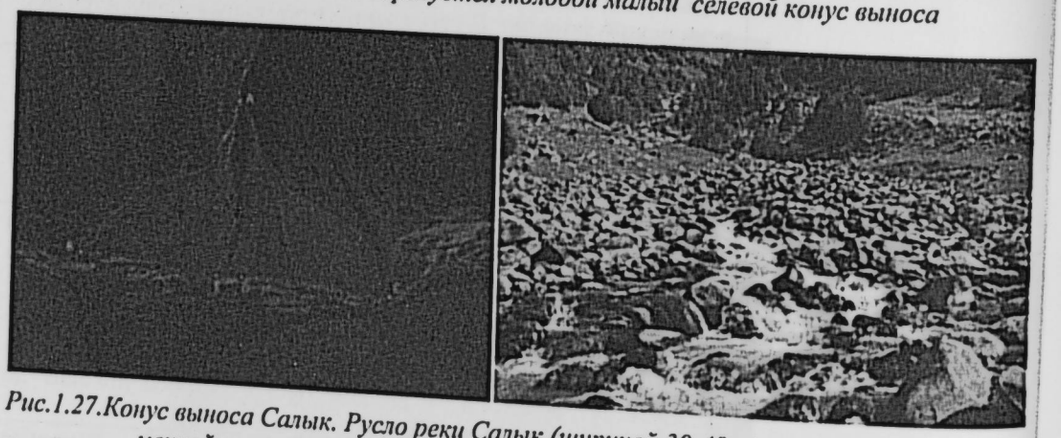


Рис.1.27.Конус выноса Салык. Русло реки Салык (шириной 30-40 м) выполнено глыбово-каменной отмосткой, которую не могут разрушить речные паводки

Вышеперечисленные различия в строении конусов выноса аксайского и салыкского типов обусловлены особенностями режима селеформирования тех горных долинах, в устьях которых образовались эти конуса выноса. Чтобы определить как особенности режима селеформирования в горных долинах отражаются на строении ко-

нусов выноса были проведены дендрохронологические анализы лесной растительности, произраставшей на их поверхности. Точки отбора дендрохронологических проб показаны на рисунках 1.28 – 1.30.

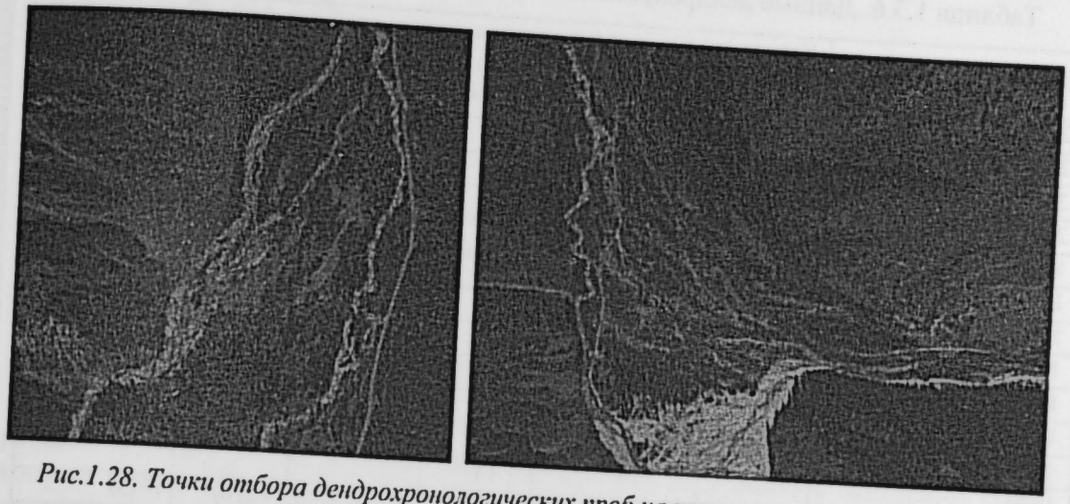


Рис.1.28. Точки отбора дендрохронологических проб на конусе выноса Адыгене и Аксай

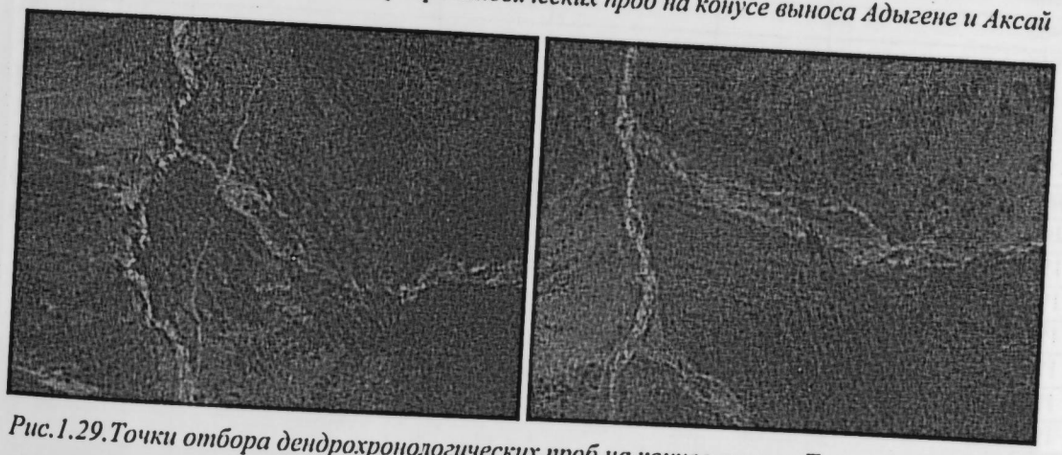


Рис.1.29.Точки отбора дендрохронологических проб на конусе выноса Текетор и Топкарагай

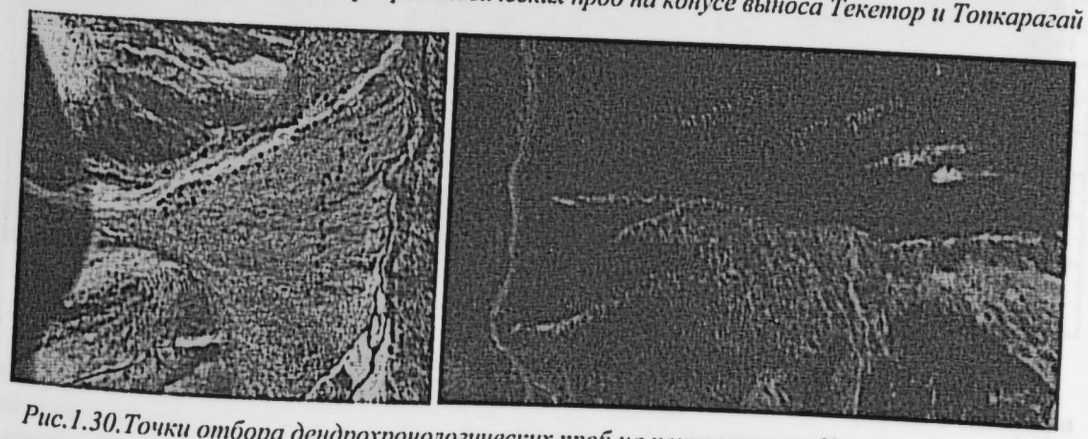


Рис.1.30.Точки отбора дендрохронологических проб на конусе выноса Кутургансу и Салык

Результаты анализа дендрохронологических проб приведены в таблице 1.3.6.

Таблица 1.3.6. Данные дендрохронологического исследования

Годы	Количество деревьев поврежденных селевыми потоками по конусам выноса					
	Салык	Кутургансу	Аксай	Адыгене	Текетор	Топкарагай
2015			+ 3			
2012				+(8)		
2010		+ 5				
2003		+ 10	+ 4		+ (12)	
1999		+ 11	+ 7			
1993		+ 13	+ 6	+(8)		+ (2)
1988		+ 6		+(12)		+ (3)
1980	+(5)	+ 10	+ 25	+ (5)	+ (13)	
1975	+(3)		+ 6		+ (6)	
1974						+ (5)
1970			+ 14			
1969			+ 14			
1968			+ 9		+ (10)	+ (3)
1966		+ 3	+ 7	+ (3)		
1965			+ 8			
1964	+ (8)					
1961			+ 6		+ (6)	
1960			+ 19			
1958					+ (8)	
1956	+ (3)	+ 2				
1953				+ (8)	+ (5)	+ (4)
1946	+ (2)				+ (6)	
1938	+ (3)					
1936			+ 11			
1934			+ 9	+ 5		
1928		+ 2	+ 17			
1924			+ 10			
1922			+ 9			
1904		+ 2				
1902		+ 4				
1885		+ 2	+ 4			
Всего лет	6	12	19	7	8	5
Коэффициент годовой селевой активности	0,046	0,092	0,146	0,053	0,061	0,038

Оценка данных таблицы 1.3.6 позволяет сделать некоторые выводы о различиях в режиме селеформирования и разместить обследованные долины по селевой активности так как показано на рис.1.31.

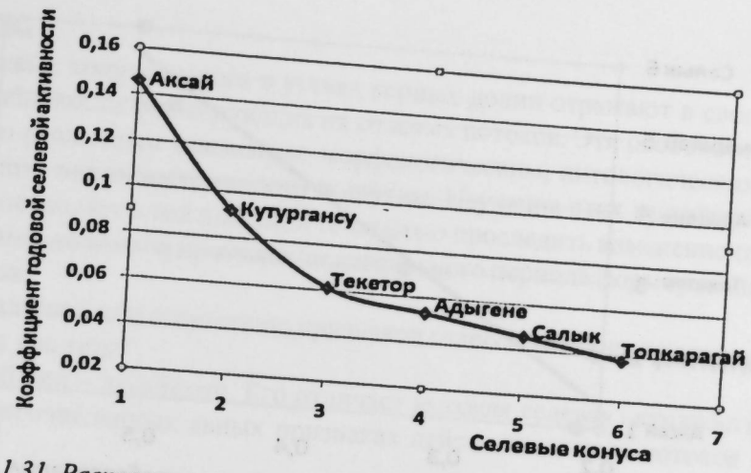


Рис.1.31. Расположение обследованных долин по мере селевой активности

Различия разнотипных конусов выноса обусловлены особенностями селеформирования долин, в устьях которых они образовались. В долинах с аксайским типом конусов выноса могут формироваться мощные прорывные потоки, которые ниже по долине трансформируются в селевые. В долинах с конусами выноса салыкского типа прорывные потоки не образуются. Причиной этому являются мощные конечно моренные языки (рис.1.32), которые пропуская через себя потоки талых ледниковых вод дозируют их расход. Из-за ограниченности расходов водные потоки не могут трансформироваться в селевые, хотя геологические условия в долинах Салык и Топкарагай благоприятны для формирования селевых потоков (большое количество обломочного материала, большой уклон долин).



Рис.1.32. Мощные конечно - моренные языки на ледниках Салык и Топкарагай

Для оценки мощности процесса моренообразования в горных долинах вводится коэффициент моренообразования, который представляет собой соотношение заморененной и открытой частей ледника. Это соотношение отражает активность процесса моренообразования в условиях современной деградации ледников. В результате дешифрирования аэро-и космофотоснимков и полевых измерений для каждой обследованной долины был определен коэффициент моренобразования (рис. 1.33).

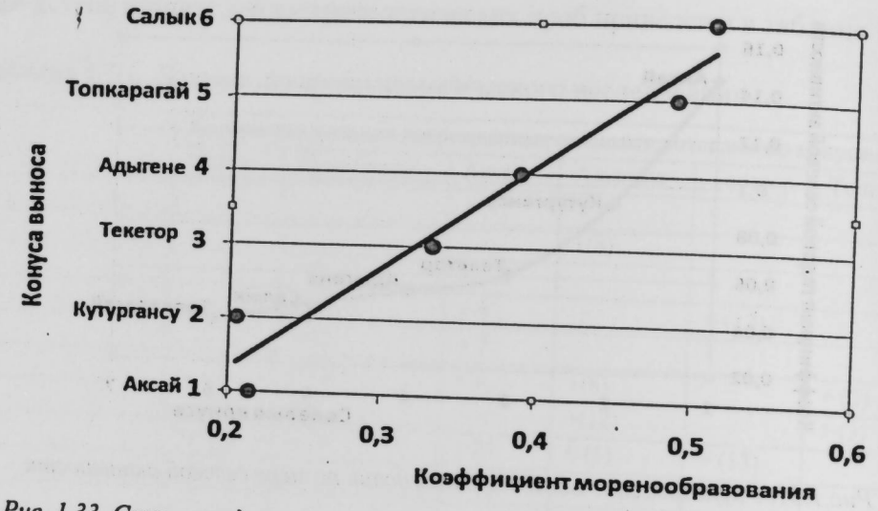


Рис. 1.33. Связь между активностью моренообразования и конусами выноса.

Из вышеприведенных примеров следует вывод, что селевая активность горной долины в значительной мере зависит от процесса моренообразования. Если в процессе деградации ледника формируется моренно-ледниковые комплексы, представленные конечно-моренными языками или «каменными глетчерами», то селевая активность в горной долине подавляется. Это связано с тем, что конечно-моренные языки и «каменные глетчеры» дозируя расход потоков талых вод препятствуют, во-первых, формированию прорывных потоков, во-вторых, почти исключают поставку обломочного материала в селевые потоки.

Напротив, если современный моренный комплекс размывается потоками талых ледниковых вод, то селевые процессы в долине активизируются, так как получают большое количество обломочного материала.

Степень зависимости селевой активности в горной долине от процесса моренообразования в её верховьях наглядно проявляется на графике зависимости двух коэффициентов: моренообразования и годовой селевой активности (рис.1.34).

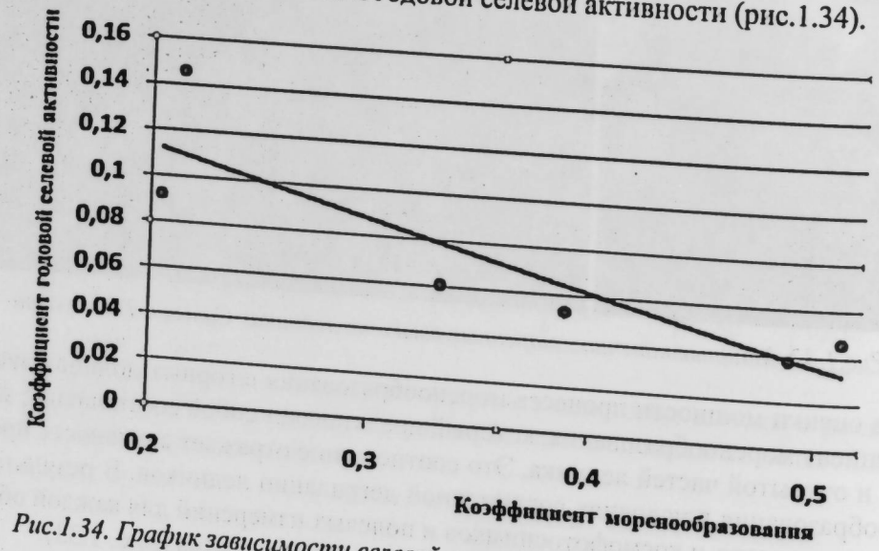


Рис.1.34. График зависимости селевой активности от моренообразования

Выводы

1. Селевые конуса выноса в устьях горных долин отражают в своем строении и составе особенности формирующих их селевых потоков. Эти особенности могут проявляться по различным признакам: морфологическим, литологическим, дендрохронологическим, лихонометрическим и другим. Изучение этих признаков (назовем их селевыми) позволяет в той или иной точностью проследить изменение селевой активности в горной долине на протяжении длительного периода формирования и развития этих конусов.

2. По наличию или отсутствию признаков селевой активности конуса выноса разделяются на два типа:

- первый тип – аксайский. Его отличает высокая селевая активность, что проявляется в многочисленных явных признаках действия селевых потоков в последние годы.

- второй тип –салыкский; К нему относятся селепассивные конуса, у которых отсутствуют признаки действия селевых потоков в последние годы.

3. Различия в строении конусов выноса аксайского и салыкского типов обусловлены особенностями режима селеформирования тех горных долинах, в устьях которых образовались эти конуса выноса. В долинах с аксайским типом конусов выноса селевые потоки проходили значительно чаще, чем в долинах с конусами выноса салыкского типа. По данным дендрохронологического анализа коэффициент годовой селевой активности за период с 1885 по 2015 гг по долинам первого типа составил 0,146-0,092, второго типа 0,046-0,038.

4. В долинах с аксайским типом конусов выноса могут формироваться мощные прорывные потоки, которые ниже по долине трансформируются в селевые. В долинах с конусами выноса салыкского типа прорывные потоки не образуются. Причиной этому являются мощные конечно-моренные языки, которые, пропуская через себя потоки талых ледниковых вод по внутриледниковым каналам, дозируют расход этих потоков и у них не хватает мощности, чтобы трансформироваться в селевые потоки. Поэтому селевая активность горной долины в значительной мере зависит от процесса моренообразования.

5. Чем активнее процессы моренообразования тем пассивнее селевые процессы. Процесс моренообразования конечно-моренных языков и каменных глетчеров подавляет селевые процессы.

1.4. Методика определения зоны селе-паводкого поражения

1.4.1. Определение расхода потока, формирующего зону поражения

Для определения зоны селепаводкового поражения необходимо знать расход прорывного потока, значение которого зависит от механизма прорыва плотины озера и определяется по одной из моделей, изложенных в главе 5 данной монографии.

После прорыва озера прорывной поток устремляется вниз по долине и при соответствующих условиях может трансформироваться в селевой. В этом случае расход прорывного потока $Q_п$ многократно увеличивается в зависимости от коэффициента мощности селевого очага – S. Расход селевого потока $Q_с$ определяется по формуле:

$$Q_с = Q_п * S \qquad (1)$$

По мере продвижения вниз по долине селевой поток распадается, постепенно трансформируясь в паводок, расход которого можно определить по формуле:

$Q_п = Q_c*(1-C_т)$ (2)

где $C_т$ - концентрация твердого вещества в потоке. Определяется по известной формуле Такахаши-Багнольда (см. раздел 1.3.1, формула 19):

$$C_T = \frac{\rho_o \cdot tg\alpha}{(\rho_T - \rho_o)(tg\varphi - tg\alpha)} \quad (3)$$

1.4.2. Определение высоты прорывного потока

Для определения ширины (*B*) зоны паводкового и селевого поражения необходимо знать высоту (глубину) (*H*) прорывного потока в каждом поперечном профилестворе (рис. 1.35; 1.36). Действительную высоту $H_д$ селе-паводкового потока определить невозможно или очень сложно, так как паводковый и селевой процессы находятся под влиянием многочисленных факторов, действующих в тесной взаимосвязи. Оценить роль каждого из них, в настоящее время, не представляется возможным.

Поэтому вместо действительной высоты $H_д$ используется условная расчетная высоту потока - H_p, которая будет несколько больше $H_д$ (действительной), однако это не снизит качества расчетов, а наоборот придаст им некоторый запас надежности. Доказательство правомерности неравенства $H_p<H_д$ для расчетов приводятся ниже.

Значение H_p рассчитывается по формуле И.И. Херхеуледзе (1972), преобразованной относительно H_p.

$$V = 4{,}83 \times H_p^{0,5} \times i^{0,25} \quad (4)$$

$$V = Q_п / F_p \quad (5)$$

$$H_p^{3/2} = \frac{Q_п}{4{,}83 \times i^{0,25} \times B} \quad (6)$$

В формулах (4-6): H_p - рассчитанная высота прорывного поток;

V - скорость прорывного потока, м/сек;

i - уклон днища долины, i= tg α – угол уклона долины;

$Q_п$ – расход селе-паводкового потока, $м^3$/сек;

B - ширина днища долины, м; днищем считается русло, пойма и голоценовые террасы долины;

F_p – рассчитанная площадь поперечного сечения прорывного потока: $F_p = H_p*B$. Произведение H_p*B определяет теоретически рассчитанную площадь F_p поперечного сечения прорывного потока. При этом предполагается, что сечение потока прямоугольное. В действительности она обычно трапециевидное. Поток растекается по днищу долины, занимая все ее сечение площадью $F_д$ и высотой $H_д$ (см. рис.1.35). $F_д$ и $H_д$ – действительные площадь и высота сечения прорывного потока. При равенстве $F_p = F_д$ значение H_p будет превышать $H_д$, что создает запас прочности расчетов, для обеспечения их надежности при определении ширины зоны поражения и её границ по каждому поперечному створу долины.

Этот запас прочности необходим из-за характера прорывного потока. Режим его движения турбулентный, что делает расход потока нестабильными. К этому еще добавляются различного рода заторы в русле, прорывы которых резко увеличивают

высоту потока. Соответственно расширяется зона поражения. Предусмотреть негативное действие такого рода аномальных явлений можно только путем увеличения надежности расчетов, т.е. сохраняя неравенство *Hp>Hд* .

1.4.3. Определение ширины и границ зоны поражения

Процесс определения разделяется на два этапа; полевой и камеральный. На полевом этапе проводится «профилирование» долины, и построение поперечных профилей по створам по пути движения прорывного потока (см. рис. 1.35; 1.36). Расстояние между профилями зависит от необходимой детальности обследования. На каждом створе определяется уклон русла потока, характер строения днища и бортов долины (это позволит охарактеризовать поток как селевой или как паводковый). При обследовании определяются физико-механические свойства *ПСМ* (потенциально селевой материал): его плотность, влажность, угол естественного откоса, пористость, гранулометрический состав.



Рис.1.35. Схема профиля поперечного створа долины на пути движения селе-паводкового потока

На втором этапе работ, камеральном, проводятся расчеты параметров прорывного потока по вышеприведенным формулам. На каждом поперечном профилестворе определяются ожидаемые $Q_п$; i; ρ_c, $C_т$, tgα, B, и, как конечный результат, - H_p. Параметры, по каждому поперечному створу, выносятся на продольный профиль долины (рис..1.35). Теоретически рассчитанная высота потока на каждом профиле отражает тот уровень, к которому приближается высота действительного потока - $H_д$, но не может ее превысить из-за надежности расчетов. Исходя из этого положения можно считать, что рассчитанная ширина зоны селе-паводкового поражения S_p соответствует ширине долины на уровне соответствующем уровню теоретически рассчитанной высоты - H_p.



Рис.1.36. Схема участка днища долины с поперечными створами с линиями границы зоны поражения селе-паводковые потоком

При этом $S_р > S_д$ ($S_д$ - действительная ширина зоны поражения), что необходимо для надежности. Между профилями величина $S_р$ изменяется постепенно, что позволяет при ее определении применить линейную интерполяцию.

Таким образом, ширина зоны поражения может быть определена в любом поперечном створе вдоль пути прорывного потока, а соединив береговые точки зоны поражения между створами линией (по закону линейкой интерполяции) можно получить границы зоны паводкового и селевого поражения (см. рис. 1.36).

При расчете границ зоны поражения некоторые сложности возникают на участках разветвления потока. Расход потока по каждому ответвлению рассчитывался исходя из следующих уравнений

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}$$

$$\frac{Q_1 + Q_2}{Q} = 1 \qquad \frac{F_1 + F_2}{F} = 1$$

где $Q_1; F_1; S_1$ - расход, площадь поперечного сечения и ширина потока на первом ответвлении Q_2; F_2; S_2 - то же на втором ответвлении; Q и F - расход и площадь поперечного сечения потока до разветвления.

2. Мониторинг прорывоопасности горных озер

2.1. Мониторинг прорывоопасных высокогорных озер

Цель мониторинга: прогноз прорывоопасности горных озер Кыргызстана, оценка степени опасности, предупреждение население об угрозе прорыва озера, выработка рекомендации по максимальному снижению ущерба от возможных негативных последствий прорыва.

В настоящее время, как результат многолетнего изучения горных озер, разработана система мониторинга прорывоопасных озер, состоящая из 5-ти этапов:

1-й этап – выявление прорывоопасных озер из множества горных озер;

2-й этап – оценка степени опасности прорыва горных озер;

3-й этап – режимные наблюдения за развитием прорывоопасных озер;

4-й этап – оценка возможного ущерба от прорыва горных озер;

5-й этап – выработка рекомендаций по уменьшению ущерба от прорывов горных озер.

На каждом этапе решаются свои специфические задачи.

1-й этап мониторинга. На 1-ом этапе мониторинга выделяются озера с неустойчивыми, потенциально прорывоопасными плотинами, чтобы в дальнейших исследованиях сосредоточить работу именно на этих озерах. Важнейшим критерием для определения прорывоопасности озер является тип и подтип озера. Озера каждого типа и подтипа имеют свои характерные признаки, которые очень важно знать, чтобы правильно оценить прорывоопасность озера. Наибольшую угрозу, в настоящее время, представляют озера моренно-ледникового типа, затем идут моренно-ригельные, далее моренные, завальные, ледниковые. Кроме главного критерия имеется еще ряд критериев оценки прорывоопасности горного озера: 1) характер стока; 2) состояние каналов стока; 3) возможности увеличения озерной ванны; 4) возможность переполнения озера; 5) устойчивость плотины озера по отношению к термокарстовым и эрозионным процессам и др. Выявление прорывоопасных озер проводится путем аэровизуальных облетов горных территорий на вертолете и обследованием этих территорий по аэро - и космоснимкам. Выявленные прорывоопасные озера заносятся в каталог прорывоопасных озер Кыргызстана.

2-й этап мониторинга. Оценка степени опасности прорыва горных озер. По степени прорывоопасности озера разделяются на четыре категории. Категория прорывоопасности озера понятие отражающее состояние устойчивости плотины озера на момент его обследования. В процессе развития озера категория его прорывопасности может изменяться много раз в зависимости от складывающейся ситуации возможности прорыва озера. Первоначально прорывоопасность озер оценивалась по трем категориям (наиболее прорывоопасная – первая). Однако в процессе последующих исследований горных озер появилась необходимость ввести еще и четвертую категорию, в которую попадают озера, уже прошедшие в своем развитии прорывоопасную стадию, т.е. они уже прорывались один или несколько раз. Но они еще сохранили возможность накопления в озерных ваннах значительных объемов воды и при соответствующих изменениях природных условий (землетрясении, обвалах, оползнях, селевых потоках) могут стать прорывоопасными. Для оценки прорывоопасности горных озер проводятся наземное обследование плотин и ванн прорывоопасных озер.

При этом решаются следующие задачи: - определяется устойчивость плотины озера и возможное время её прорыва;

- определяется механизм прорыва озера, строится модель прорыва;
- рассчитывается расход прорывного потока.

3-й этап мониторинга. Режимные наблюдения за развитием прорывоопасных озер. В процессе наблюдений выявляется характер питания озера и стока из него, определяются тенденции в развитии озера, в изменении устойчивости его плотины. Для наблюдения за развитием озер в 2008 году была построена высокогорная озерно-гляциологическая гидрометеорологическая станция Адыгене в долине реки Алаарча, на высоте 3600м (рис.2.1).



Рис.2.1.Высокогорная озерно-гляциологическая гидрометеорологическая станция Адыгене в долине реки Алаарча, на высоте 3600 м н.у.м.

В комплекс режимных наблюдений на озерах входят следующие виды работ:
1) наблюдения за колебаниями уровня воды в озере;
2) наблюдения за изменениями температуры воды в озере;
3) гидрометрические наблюдения за притоком воды в озеро и её стоком;
4) метеорологические наблюдения (рис.2.2).

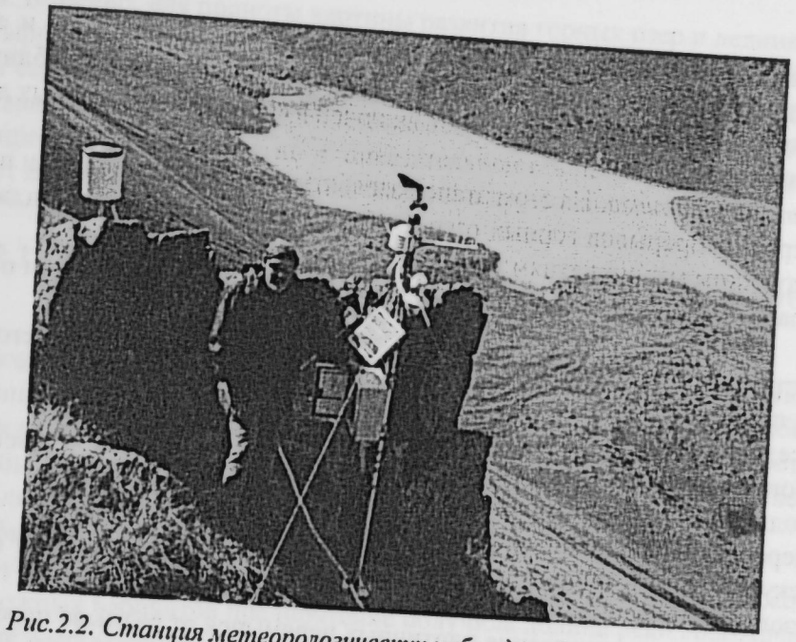


Рис.2.2. Станция метеорологических наблюдений на озере Кольтор

4-й этап мониторинга. На 4-ом этапе мониторинга проводится большая работа по оценке возможного ущерба от прорыва горных озер:

1) определяется механизм возможного прорыва плотины озера и рассчитывается расход прорывного потока.

2) оценивается селевая опасность горной долины, по которой будет проходить прорывной поток;

3) определяется зона поражения прорывного потока (рис.2.3). На основе карт зон поражения прорывных потоков оценивается возможный ущерб.

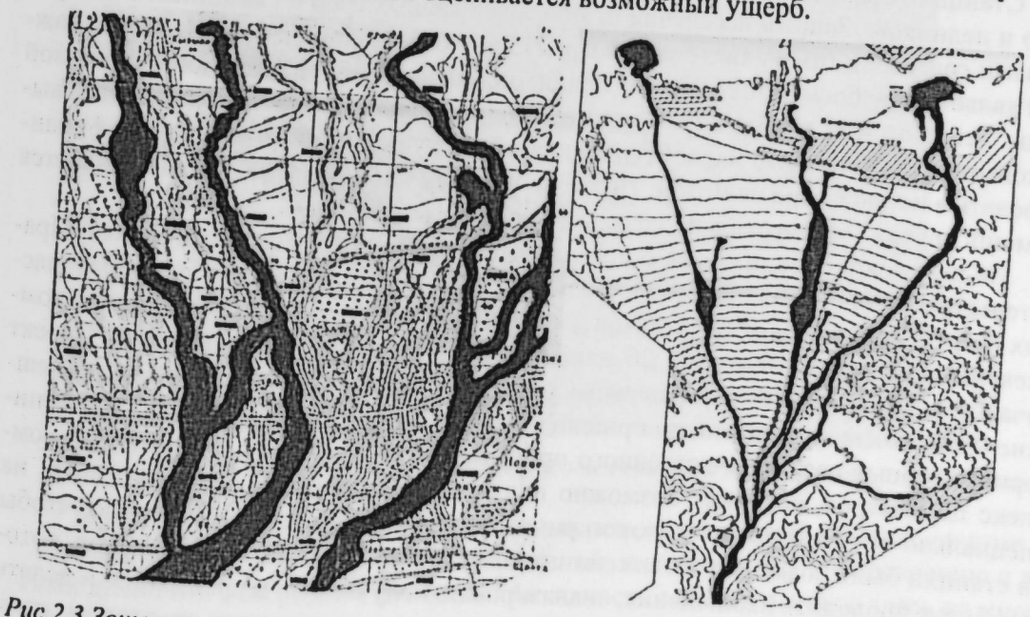


Рис.2.3.Зоны поражения прорывными потоками: слева – с. Панфиловское при прорыве оз. Джарды-Каинды; справа - с. Сокулук при прорыве оз. Кейды-Кучкач

В Кыргызстане разработан Порядок определения зон паводкового и селевого поражения при прорывах горных озер на территории Кыргызской Республики. Этот документ под номером СП КР 22-102:2001 включен в систему нормативных документов по строительству.

5-й этап мониторинга. На 5-ом этапе разрабатываются рекомендации по уменьшению ущерба от прорывов горных озер. В Кыргызстане такие рекомендации сводятся к следующим мероприятиям:

1) разработка планов эвакуации населения в случае предупреждения о прорыве озера;

2) контроль за строительством жилых домов и хозяйственных объектов в зонах поражения прорывными потоками;

3) выселение жителей за пределы зон поражения;

4) строительство защитных сооружений для жилых домов и хозяйственных объектов, находящихся на территории зон поражения.

5) в перспективе использование еще двух методов:

- искусственного опорожнения прорывоопасных озер, частичное опорожнение, до безопасного объема, или полное;
- искусственного укрепления плотинных перемычек от размыва переливающимися потоками.

Таким образом, работа по уже применяемой в Кыргызстане системе мониторинга прорывоопасных озер, состоит из 5 этапов. Решение задач каждого этапа позволит организовать надежную защиту от прорывов горных озер.

2.2. Высокогорная озерно-гляциологическая станция Адыгене

Станция Адыгене была построена в 2008-ом году для изучения высокогорных озер и ледников. Защита населения от прорывов горных озер и связанных с их прорывами селевых потоков является в Кыргызстане острой проблемой. Не менее важной является проблема отступающих ледников, как источников питьевой и поливной воды. Решение этих проблем требует специальных дорогостоящих исследований высокогорных зон, которые наша Республика из-за скудности своего бюджета финансировать в полной мере не может. Поэтому очень важной для Кыргызстана является помощь других государств в проведении таких исследований.

На неоднократные просьбы о помощи откликнулась Чешская Республика, Правительство которой финансировало большую часть работ по изучению прорывопасных озер. В рамках совместного кыргызско-чешского проекта были проведены комплексные исследования озер в 20 наиболее селеопасных горных долинах. Проект начался в 2004 году. После его первого этапа, который завершился в 2006 году, чешские и кыргызские специалисты пришли к одному очень важному выводу: для мониторинга горных озер и качественного прогноза их развития необходим целый комплекс параметров, которые возможно получить при постоянных наблюдениях на специально оборудованных высокогорных станциях. При этом очень важно, чтобы на станции были созданы условия для постоянного проживания специалистов, которые будут проводить наблюдения, анализировать получаемую информацию и делать правильные выводы. Поэтому было принято следующее решение: на втором этапе чешско-кыргызского проекта построить высокогорную озерно-гляциологическую

станцию. Конечно, для полноты картины развития горных озер и ледников на территории Кыргызстана одной станции недостаточно, необходимо 10-15 таких станций. Но из-за ограниченности средств, выделяемых Чешским Правительством, была построена только одна станция. Предполагалось, что она будет не только первой подобной станцией в Кыргызстане, но и показательной станцией, на основе работы которой будет возможна установка таких станций в других долинах.

2.2.1. Этапы создания высокогорной озерно-гляциологической станции «Адыгене»

Главными требованиями к месту расположения станции были следующие:

- станция должна располагаться вблизи горных озер и ледников, чтобы было возможно вести круглосуточные и круглогодичные наблюдения за этими объектами;
- чтобы к станции был подход, хотя бы пешеходный, но без применения специального альпинистского снаряжения;
- чтобы вблизи станции мог садиться вертолет.

Выбор местоположения установки первой станции был не очень сложным, так из всех возможных вариантов предпочтение получила долина реки Ала-Арча, на северном склоне Кыргызского хребта (рис.2.4). В устье этой долины расположена столица Кыргызстьана – город Бишкек.

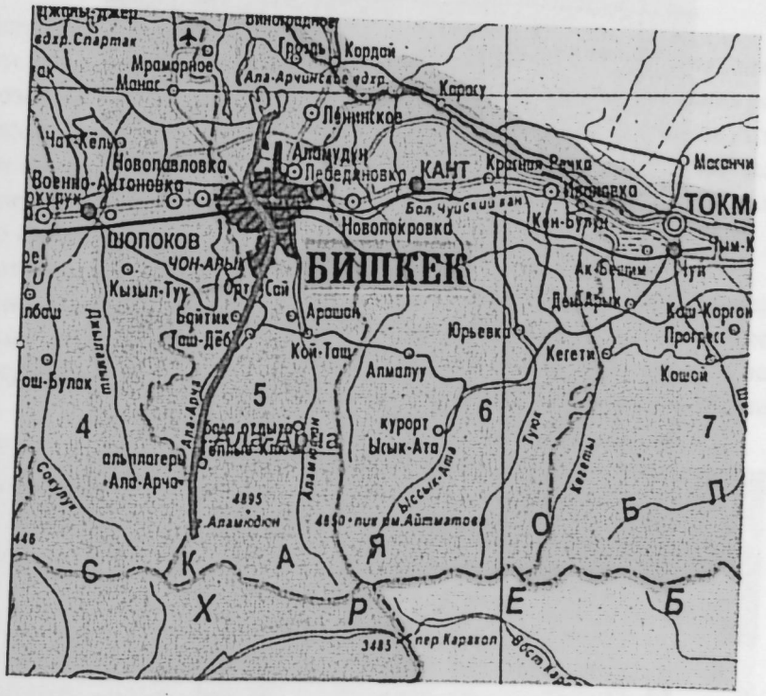


Рис.2.4. В устье долины реки Ала-Арча находится столица Кыргызстана, город Бишкек

Преимущества долины реки Ала-Арча перед остальными были следующими.

Долина Ала-Арча отличается повышенной селеопасностью по сравнению с другими долинами Северного Тянь-Шаня. Активность селевых потоков здесь во многом обусловлена прорывами озер и внутриледниковых емкостей.

В устье долины расположен город Бишкек – столица Кыргызстана. Через город проходит русло реки Ала-Арча, по которому в город приходят паводковые потоки, угрожающие затоплением прибрежным участкам его территории.

В нижней части долины реки Ала-Арча находится зона отдыха жителей Бишкека и многочисленных гостей Кыргызстана. В теплые весеннее-летние дни здесь отдыхают несколько десятков тысяч человек. Здесь расположен дом-отдыха президента Кыргызской Республики.

После обследования всех горных озер и ледников в долине реки Ала-Арча было выбрано место строительства станции. Таким местом стал обширный ледниковый цирк в верховьях долины Адыгене. Река Адыгене является левым боковым притоком реки Ала-Арча. После обследования всех горных озер и ледников в долине р. Ала-Арча было выбрано место строительства станции. Таким местом стал обширный ледниковый цирк в верховьях долины р. Адыгене, которая является левым боковым притоком р. Ала-Арча (рис.2.5). В настоящее время ледник Адыгене отступил и не заполняет все днище цирка. На месте отступившего ледника образовался обширный моренно-ледниковый комплекс, на поверхности которого в глубоких внутриморенных депрессиях и многочисленных термокарстовых воронках сформировались озера. Всего их насчитывается здесь от 12 до 15 (Рис.2.6).



Рис.2.5. Станция Адыгене находится в 60 км юго-западнее города Бишкек, на высоте 3600м, в верховьях долины реки Адыгене, левого бокового притока реки Ала-Арча

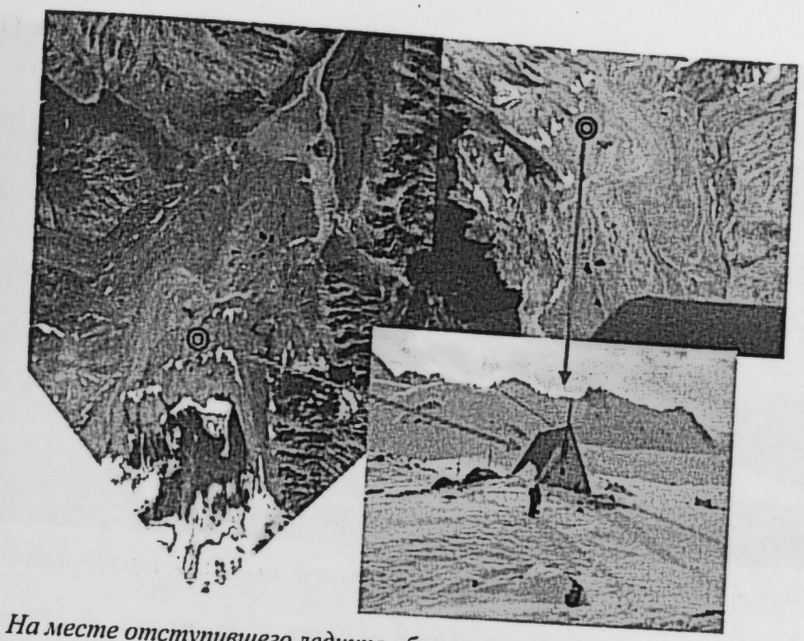


Рис 2.6. На месте отступившего ледника образовался обширный морено-ледниковый комплекс Адыгене, на поверхности которого сформировались многочисленные озера, среди которых расположена станция «Адыгене»

Неопределенность в количестве озер на моренно-ледниковом комплексе Адыгене объясняется тем, что они нестационарные. Это самая прорывоопасная разновидность горных озер. Обычно ванны этих озер формируются в замкнутых внутриморенных депрессиях с хорошо разработанным подземным стоком. В случае закупорки подземных или внутриледниковых каналов стока они наполняются водой, затем вода уходит по подземным каналам стока и ванна озера может оставаться сухой 1-3 года до следующего наполнения.

Недалеко от места расположения станции (0,3-0,5 км) находится концевая часть ледника Адыгене. В настоящее время ледник отступает и распадается в концевой части на отдельные языка, разделенные срединными моренами. Однако он занимает еще значительную площадь (около 2 км^2) заполняя всю верхнюю часть ледникового цирка (рис.2.7).

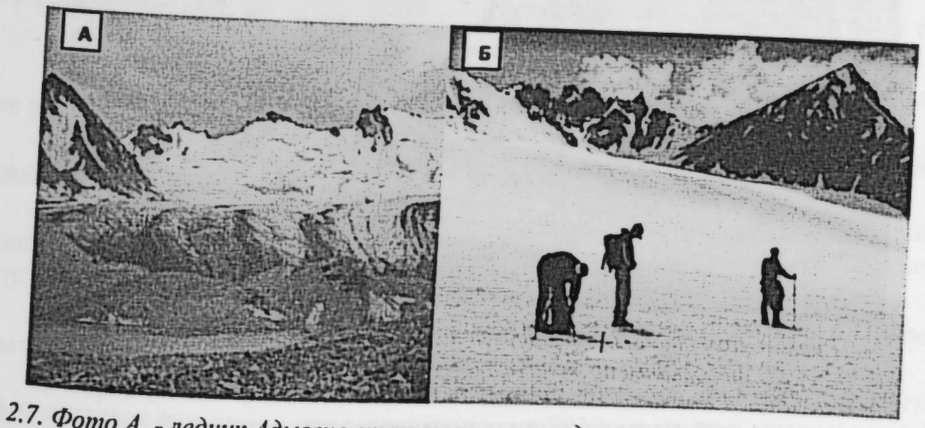


Рис. 2.7. Фото А. - ледник Адыгене отступает и распадается на отдельные языки, но еще охватывает значительную площадь в верхней части ледникового цирка – фото Б

Дом станции расположен на берегу самого большого из озер Адыгене. Оно так и называется Большое Адыгене (рис.2.8).



Рис.2.8. Место расположения дома станции Адыгене на берегу озера Большое Адыгене

При выборе площадки строительства станции учитывалась возможность просадки при таянии под домиком мерзлых моренных грунтов и погребенных льдов. Поэтому дом установлен на скальных грунтах, покрытых небольшим по мощности (1-1,5 м) чехлом морены (рис.2.9). Чтобы не нарушить естественный температурный режим в основании дома, он опирается на сваи, врытые в мерзлый грунт на 0,5-1 м. Высота свай над землей 0,5 - 0,7 м.



Рис.2.9. Дом станции установлен на скальных грунтах, покрытых небольшим по мощности (1-1,5 м) чехлом морены

Для отопления и обогрева станции используется три источника энергии: солнечные панели, ветровой генератор, бензиновый генератор (рис.2.10).

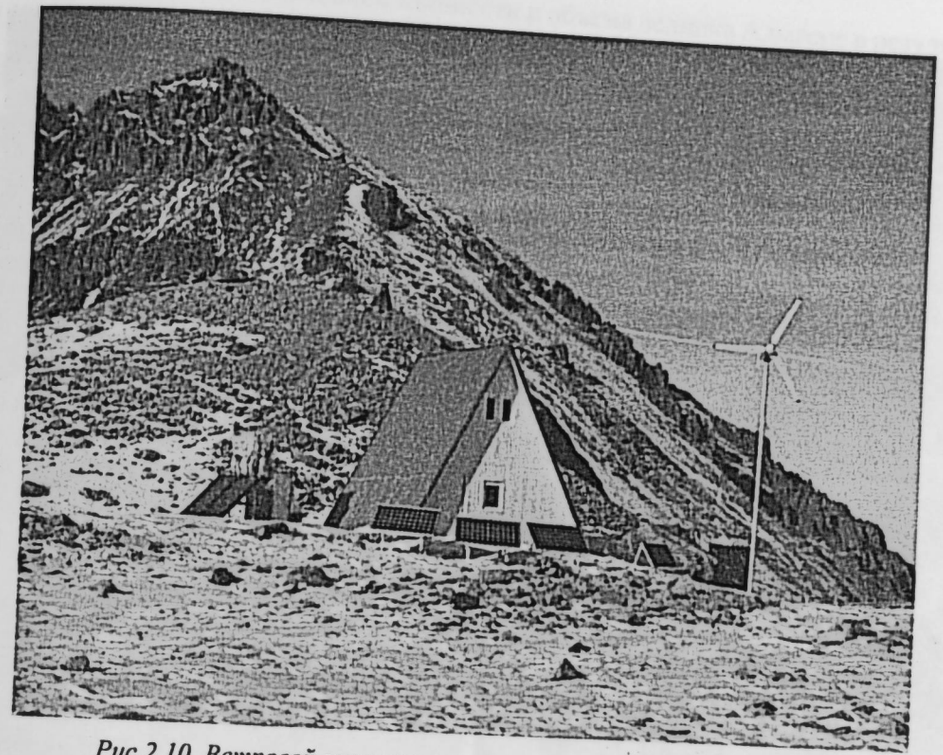


Рис.2.10. Ветровой генератор и солнечные панели обеспечивают дом станции теплом и светом.

2.2.2. Программа работы станции «Адыгене»

1.Регулярные режимные наблюдения. Они включают в себя ежесуточные наблюдения, выполняемые дежурными по станции. Состав наблюдений следующий:

- замер температуры воздуха: максимальной, минимальной, срочной через каждые три часа (рис.3);
- наблюдения за осадками и замер их количества в каждом случае выпадения осадков;
- наблюдения за направлением и скоростью ветра, замеры через каждые три часа;
- наблюдения за облачностью, через каждые три часа (рис.2.11);
- замер высоты снежного покрова на площадке наблюдений через три часа в дневное время ;
- в мае – июне замер высоты уровня воды и её температуры в озере Большое Адыгене через каждые три часа;
- в июне – сентябре ежедневный осмотр Малых озер Адыгене и фиксация изменений их объема; в случае увеличения объема одного из озер ежедневный замер высоты его уровня в 16.00;
- в июне - сентябре замер высоты уровня воды и её температуры в Приледниковом озере Адыгене через каждые три дня в 15.00;
- в первые годы работы станции Адыгене, до окончания чешско-кыргызского проекта по изучению прорывоопасных озер в 2012г, в зимние месяцы проводились ежедекадные определения толщины льда и снега на озерах (рис.2.11 и 2.12).



Рис. 2.11.Замеры температуры воздуха и воды под льдом замерзшего озера



Рис. 2.12. Наблюдения за облаками и снегосъемка

2. Периодические наблюдения и исследования. Они проводятся специалистами, которые поднимаются на станцию на некоторое время для выполнения определенных программ. Большинство программ намечено на теплое время май-сентябрь, когда открываются от снега ледники и наполняются озера. Количество и сроки выполнения программ, а также их исполнители меняются со временем. В летние месяцы года выполнялись работы по следующим программам:

- наблюдения за отступлением границы открытой части ледника Адыгене в результате его сокращения (рис. 2.13);



Рис. 2.13.Установка режимных марок на леднике Адыгене

- наблюдения за уменьшением мощности и объема ледника Адыгене в результате его сокращения;

- тех.обслуживание 2-х автоматических метеостанций на высотах 3600 и 3900м, их активизация (рис.2.14);



Рис. 2.14. Монтаж автоматических метеостанций и новигационных приборов GPS

- тех.обслуживание трех автоматических термометров для замера температуры воздуха на леднике Адыгене (1 термометр) и склонах горного обрамления (2 термометра), на высотах 3600, 3900 и 4000 м, активизация термометров и их обслуживание;

- тех.обслуживание автоматического уровнемера на озере Большое Адыгене, его активизация и обслуживание;

- установка 5-ти автоматических термометров для замера колебаний температуры приповерхностного слоя, на глубине 10-15 см. Термометры установлены в разных частях морено-ледникового комплекса Адыгене. Активизация и обслуживание этих термометров;

- батиметрическая съемка озер Адыгене в августе, в период их максимального наполнения.

За время работы станции «Адыгене» получены интересные результаты, позволяющие прогнозировать наполнение озер не только в долине Ала-Арча, но в соседних долинах Кыргызского хребта. Так стало известно, что при подъеме уровня озера Адыгене Большое в пункте замера его уровня до 15.2 м начинается перелив озера Кольтор, которое находится в долине реки Кегеты, в 80 км восточнее станции Адыгене.

2.2.3 Результаты исследований на станции «Адыгене»

2.2.3.1. Характеристика озер Адыгене

Наблюдение за развитием высокогорных прорывоопасных озер является одной из главных научных задач станции «Адыгене». На рис.2.15 приведена схема расположения исследуемых озер разных типов. Озера Адыгене по своему местоположению на площади моренно-ледникового комплекса ледника Адыгене, генезису, гидравлической взаимосвязи подразделяются на три группы: 1) термокарстовые озера – 12 озер; 2) озера внутриморенных депрессий - 2 озера (Большое и Малое Адыгене); 3) приледниковые озера – 4 озера (рис.2.16)

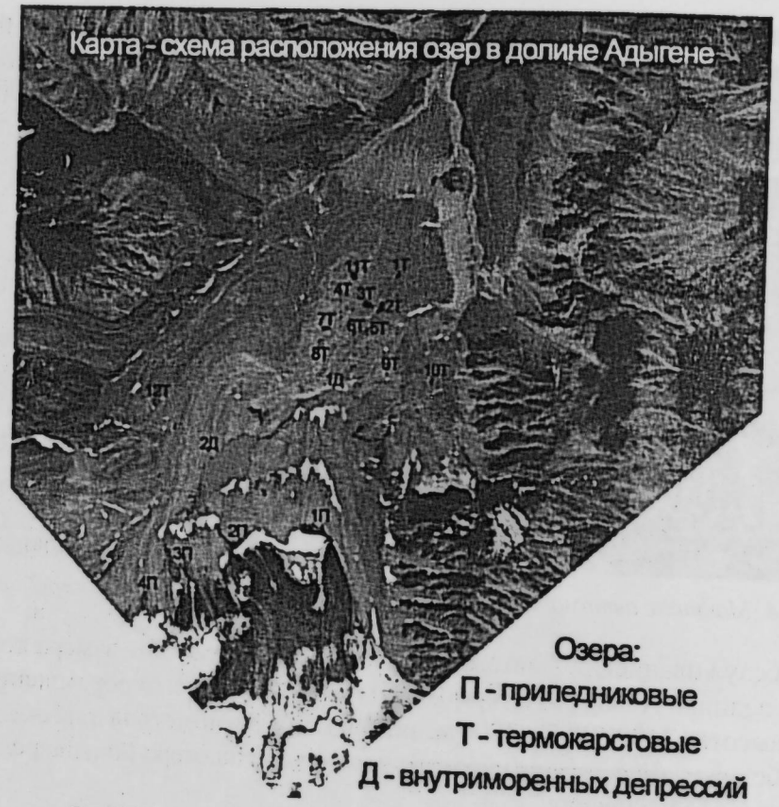


Рис.2.15.Схема расположения озер в долине р. Адыгене



Рис.2.16.Моренно-ледниковый комплекс Адыгене с тремя группами озер:

1-термокарстовые (9 озер); 2 – внутриморенных депрессий (2 озера);
3 – приледниковые (4 озера)

Еще три термокарстовых озера № 9т, 10т и 12т разбросаны по поверхности обширного моренно-ледникового комплекса Адыгене. Эти одиночные озера можно объединить в отдельную 4-ую группу.

Группа термокарстовых озер по времени образования самая древняя. Они сформировались на поверхности конечно-моренного языка. Всего в группу входит 9 озер. Каждому озеру присвоен номер. По размеру они разделяются на относительно большие - 2 озера (№ 2т,3т); средние – 3 озера (№ 1т,7т,8т,11т); малые – 3 озера (№ 4т,5т,6т). Относительно большие озера имеют размеры примерно 30х50м, глубину до 3-3,5м, объем до 5тыс. м^3 . Средние озера имеют размеры 20х30м, глубину до 2-2.5м, объем до 1,5 тыс. м^3. Малые озера имеют размеры 15х25м, глубину до 1,5м, объем до 0,5тыс. м^3. Термокарстовые озера интересны тем, что свое питание они получают только за счет атмосферных осадков и, следовательно, являются своеобразными индикаторами, отражающими изменения климата. Стока у этих озер нет. Приток в озера в виде атмосферных осадков компенсируется только испарением. Колебания уровня воды в этих озерах в течении года полностью зависит от режима выпадения осадков, их количества и солнечной активности, которая определяет величину испарения воды с поверхности озер.

Группа озер внутриморенных депрессий включает в себя два озера: Адыгене малое (или Адыгене-нижнее) и Адыгене-большое (или Адыгене-верхнее). Озера образовались во внутриморенных депрессиях моренно-ледникового комплекса Адыгене.

Озеро Адыгене-малое нестационарное, т.е. его ванна заполняется водой эпизодически. Вода в озере появляется в конце апреля, когда начинается перелив из озера БольшоеАдыгене и в меньшей степени из Приледникового озера №1 . Объем озера растет до середины августа. Затем приток в озеро уменьшается и к середине сентября вода из ванны озера полностью вытекает. Сток происходит по подземным каналам. При максимальном наполнении глубина озера достигает 4,4м, размеры 150х70м, объем до 15 тыс.м^3 (рис.2.17). Объем Малого озера в период его наполнения значительно изменяется в течении суток в зависимости от стока с Большого озера. Эти изменения колеблются от 10 до 15 тыс. м^3. Амплитуда колебаний уровня озера в течении суток может достигать 1м.

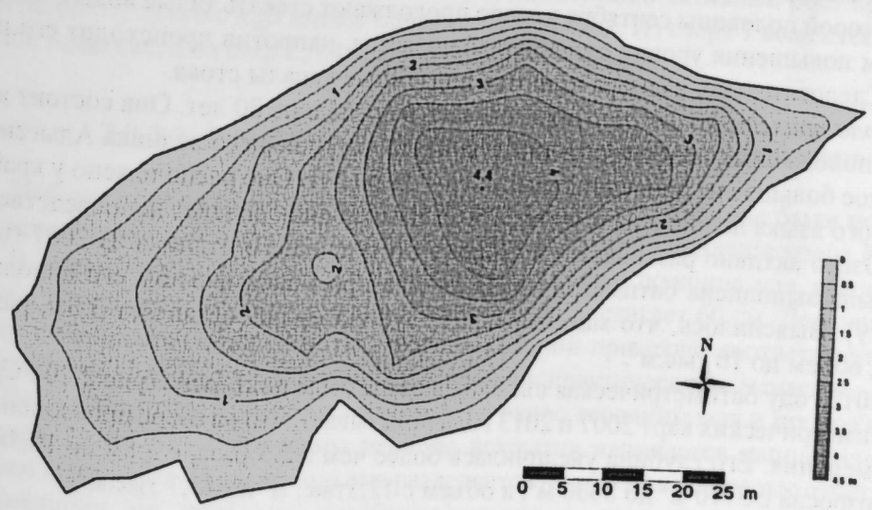


Рис.2.17.Батиметрическая карта озера Адыгене-малое

Озеро Адыгене-большое относится к моренно-ригельному типу. Озеро стационарное, т.е. вода в озере присутствует постоянно. Питание озера снежно-ледниковое. Максимальный уровень наблюдается в 3-ей декаде июля – первой декаде августа. При этом максимальная глубина озера по данным батиметрической съемки 2016 г. (рис. 2.18), составила 22,3 м, площадь акватории озера 32700 м^2, объем 208 тыс.м^3.

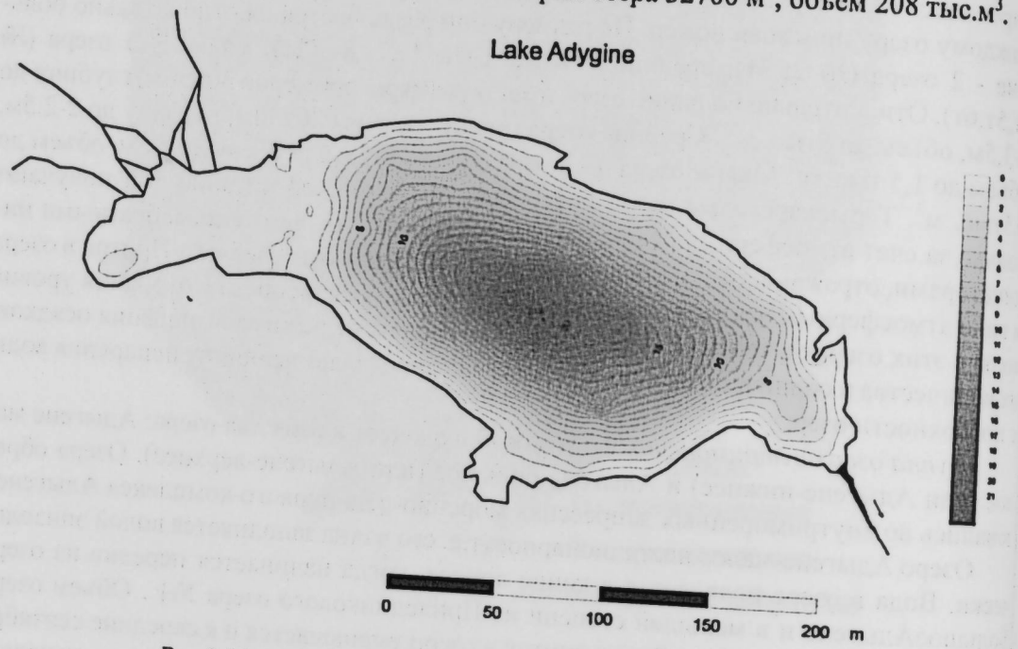


Рис.2.18.Батиметрическая карта озера Адыгене-большое

Сток из озера происходит поверхностным путем через скальный ригель в крайней северо-восточной части озера. Вытекающая из озера вода питает озеро малое Адыгене. Однако, озеро имеет и подземный сток по внутриморенным каналам, так как после снижения уровня озера ниже порога ригеля и прекращения поверхностного стока с второй половины сентября в озеро продолжают стекать талые воды с ледника. При этом повышения уровня озера не наблюдается, напротив происходит его понижение. Следовательно, из озера имеются подземные каналы стока.

Группа приледниковых озер образовалась в последние 20 лет. Она состоит из 4-х озер расположенных непосредственно у концов отступающего ледника Адыгене.

Самое большое из приледниковых озер – озеро №1. Оно расположено у крайнего восточного языка ледника на высоте 3750м. Язык ледник спадает непосредственно в озеро. Озеро активно развивается в сторону отступающего ледника. В 2007 году на озере была выполнена батиметрическая съемка при максимальном его наполнении (рис.2.19). Выяснилось, что максимальная глубина озера составляет 3,8м, размеры 130x50, объем до 10 тыс.м^3.

В 2013 году батиметрическая съемка на озере была повторена (рис.2.20). Сравнение батиметрических карт 2007 и 2013 года показывает, что на озере произошли большие изменения. Его глубина увеличилась более чем в 2.5 раза, с 3,8м до 10,4м, площадь возросла с 5710 м^2 до 8630 м^2, а объем с 12,5тыс. м^3 до 45,7 тыс.м^3.

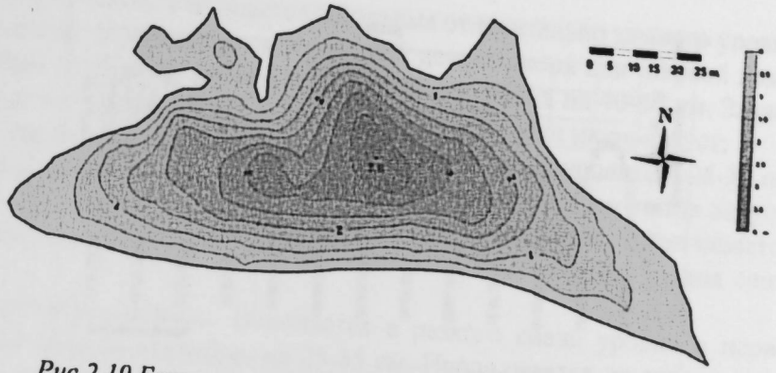


Рис.2.19.Батиметрическая карта приледникового озера №1

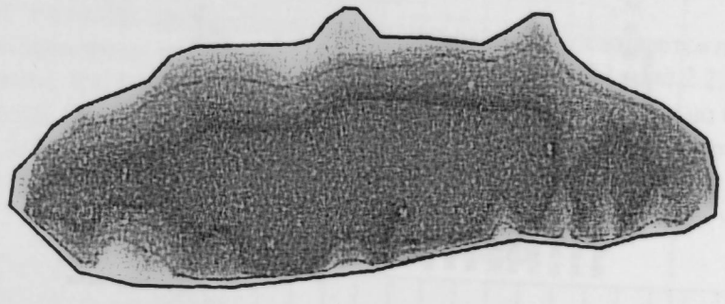


Рис.2.20.Батиметрическая карта озера Адыгене-приледниковое в 2013г

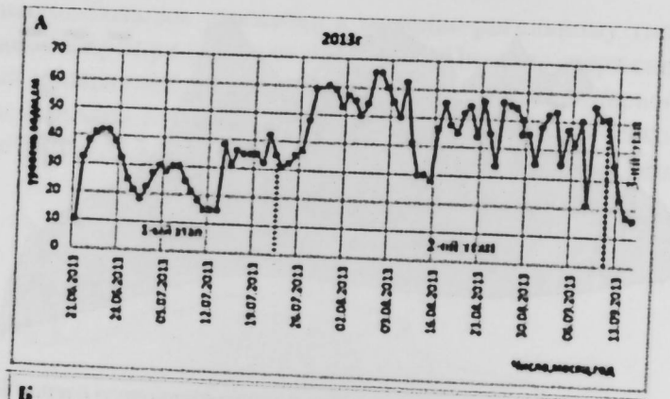
Озера 2 и 3 также активно развиваются. Их глубина при максимальном наполнении достигает 1-1.5м, а объем до 1000 м^3 . При дальнейшем отступании ледника эти озера будут расти. Озеро 4 нестационарное. Ванна озера заполняется водой в летние месяцы, а в сентябре она уже сухая. При максимальном наполнении озеро 4 имеет небольшой объем, такого же порядка, как и озера 2и3. Для приледниковых озер характерно: 1) их моренно-ригельный тип; 2) дальнейший активный рост при отступании ледника; 3) все озера имеют поверхностный сток. Из озера 1 вода стекает в озеро малое Адыгене, а из озер 2,3,4 в озеро большое Адыгене.

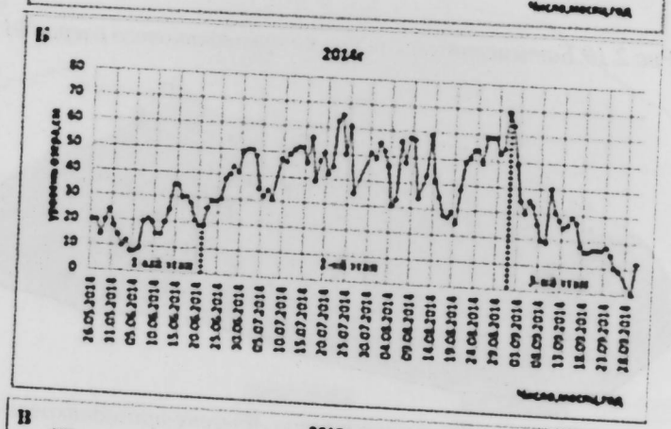
2.2.3.2. Этапы периода наполнения вани озер Адыгене

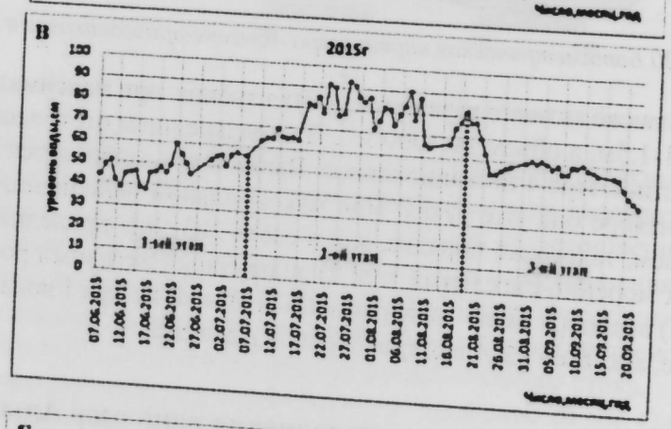
Наблюдения за колебаниями уровня воды на озерах Адыгене были поставлены, в основном, на двух озерах: Адыгене большое и Адыгене приледниковое №1.

В зимний период, примерно с середины октября и до конца мая, озера покрыты льдом. В особенно холодные зимы толщина льда достигает 60 см. Ледяной панцирь снизу подпирается толщей воды, уровень которой примерно соответствует уровню ледяного покрова. В течение зимы этот уровень практически не меняется.

Вскрытие ледяного покрова начинается около середины мая и продолжается 10-15 дней. Примерно с середины периода вскрытия начинается наполнение озера и подъем его уровня. Период подъема разделяется на три этапа, которые отчетливо прослеживаются на графиках колебания уровня воды в озере Адыгене-большое (рис.2.21.А, Б, В, Г).







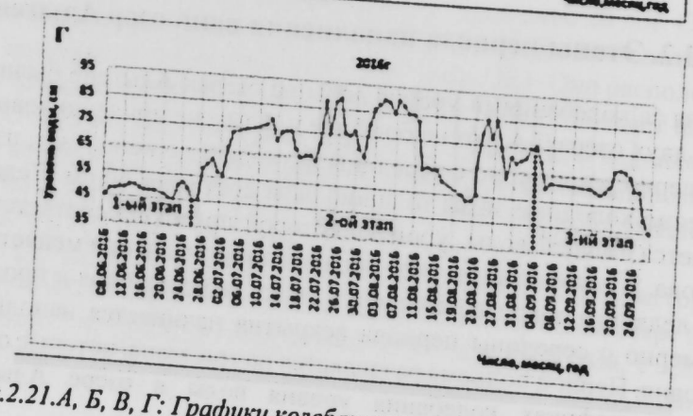


Рис.2.21.А, Б, В, Г: Графики колебания уровня воды в озере Адыгене-большое в летние месяцы 2013-2016 гг.

1 этап - июнь-июль. Начинается с подъема относительно зимнего уровня в конце мая, начале июня. Продолжается до третьей декады июня или первой декады июля с постепенным подъемом относительно зимнего уровня на 40-50 см. Заканчивается резким подъемом уровня на 30-35 см с переходом на этап июль-август;

2 этап - июль-август. Начинается с резкого подъема уровня на 25-30 см относительно уровня первого этапа (июнь-июль). Продолжается до конца августа-начала сентября с колебаниями уровня амплитудой от 15 до 35 см. Заканчивается резким спадом уровня на 25-35 см с переходом на 3-ий этап низкого уровня сентябрь-октябрьский;

3 этап-сентябрь-октябрь. Начинается с резкого спада уровня в первой, реже начале второй декады сентября, на 25-35 см. Продолжается до середины октября с постепенным понижением уровня на 30-40см. Заканчивается формированием ледникового покрытия озера на его зимнем уровне.

Такая же этапность при наполнении озерных ванн прослеживается на других озерах Адыгене, например, на озере Адыгене-приледниковое №1 (рис.2.22). Некоторое отличие от озера Адыгене-большое наблюдается только в значительно большей амплитудности колебаний уровня на 2-ом этапе. На приледниковом озере она превышает 50 см., на озере Адыгене-большое только иногда достигает 40 см.



Рис.2.22. График колебаний уровня воды Приледникового озера в 2014г.

2.2.3.3. Зависимость прорывоопасности озер от наполнения их вани

Мониторинг формирования и развития озер заключался, в первую очередь, в наблюдениях за прорывами озер. За период наблюдений озер на станции «Адыгене» с 2010 по 2016 гг. произошло три их прорыва.

В 2010 году удалось проследить наполнение и прорыв одного из Малых озер Адыгене – озера №9 (рис.2.23). Прорыв проходил по подземным каналам стока, поэтому не был катастрофическим. Озеро наполнялось 3 месяца. Его объем достиг 30тыс.м^3. Прорыв озера начался 20 июля. Впервые сутки уровень озера упал на 104 см, во вторые на 200см, в третьи 112см, затем падение стало замедляться, в четвертые сутки до 60 см, пятые до 45 см, на девятые сутки уровень упал всего на 12см, а на двенадцатые сутки уровень стабилизировался. Такой режим прорыва свидетельствует о том, что пропускная способность подземного канала стока при прорыве

зависит от давления воды озера, т.е. от его глубины. По мере уменьшения глубины (падение уровня) уменьшается давление воды и уменьшается пропускная способность канала стока, хотя его сечение при этом не меняется. Прорыв проходил по подземным каналам стока, поэтому не был катастрофическим.

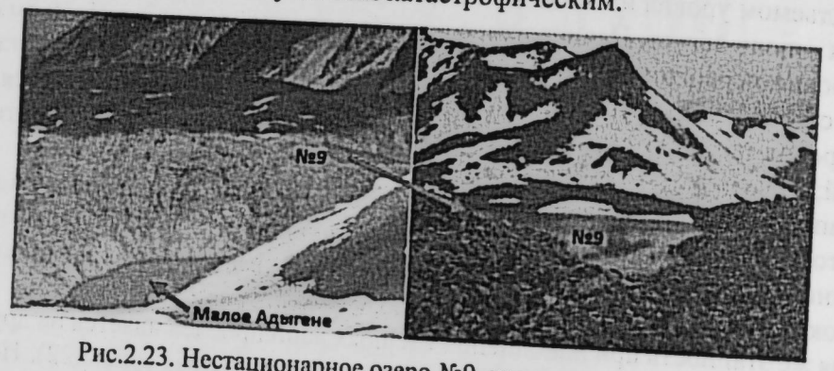


Рис.2.23. Нестационарное озеро №9, которое наполнилось в 2010 году и прорвало 20.07.2010

С 1911 по 2013 гг. ванна озера не наполнялась. В июне 2014 года озеро вновь наполнилось (рис.2.24). Его объем в конце июля достиг 35 тыс.м^3. На пике подъема уровня, в конце июля начале августа, произошел его прорыв озера (рис.3.25). В 2015-2020 гг. ванна озера №9т оставалась сухой.

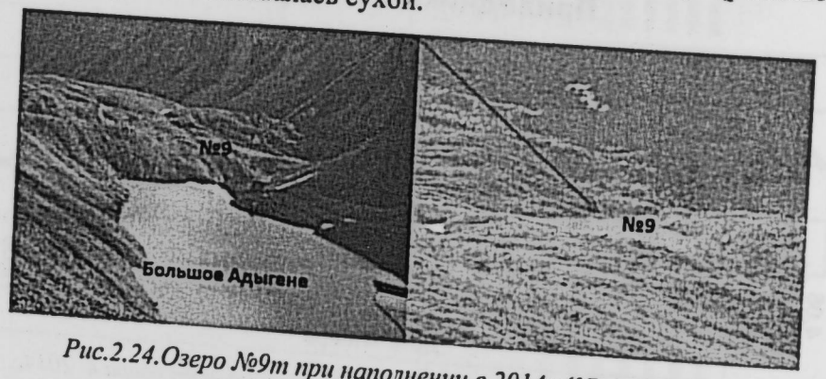


Рис.2.24.Озеро №9т при наполнении в 2014г (17 июля) перед прорывом в конце июля 2014г.



Рис.2.25.Озеро №9т перед прорывом в конце июля- начале августа 2014 г при объеме 40тыс. м^3

В июле 2012 г. был спрогнозирован прорыв озера Тезтор-2, из одноименной долины левого бокового притока реки Адыгене (рис.2.26). Озеро относится к типу нестационарных озер, т.е. его наполнение происходит эпизодически – один раз в 5-15 лет. Оно было наполнено в периоды 1990 – 1995, 2003-2004 и 2010-2012 годы, а в период с 1996 по 2001 год его заполнение составляло 20-30% от максимального. После прорыва в 2004 году, ванна озера оставалась сухой до 2010 года (рис.2.27). Затем началось ее наполнение в 2010, 2011 и 2012 годах, которое продолжалось до 31 августа 2012 года (рис.2.28). В этот день, на пике 2-го этапа наполнения озерной ванны, когда объем озера достиг 100 тыс.м^3, начался его прорыв. В 8 часов утра открылся подземный канал стока, находящийся на дне озера, через который устремился прорывной поток. Ниже по долине он вошел в селевой очаг, где легко трансформировался в селевой поток. Его расход при движении по долине Тезтор, а затем по долине Адыгене значительно увеличился и в устье реки Адыгене составлял, около 300 м^3/сек. В этот же день в 13.30 прорывной поток достиг города Бишкек, через который он прошел с максимальным расходом до 30 м^3/сек. Жертв и разрушений удалось избежать, благодаря своевременному прогнозу и предупреждению всех служб МЧС КР. После прорыва 2012 и до 2017 года ванна озера Тезтор остается почти сухой (рис.2.29).

Таким образом, время всех трех прорывов моренно-ледниковых озер в долинах Адыгене и Тезтор, произошедшие за период 2010-2016гг, приходится на пик 2-го этапа наполнения озерных ванн.

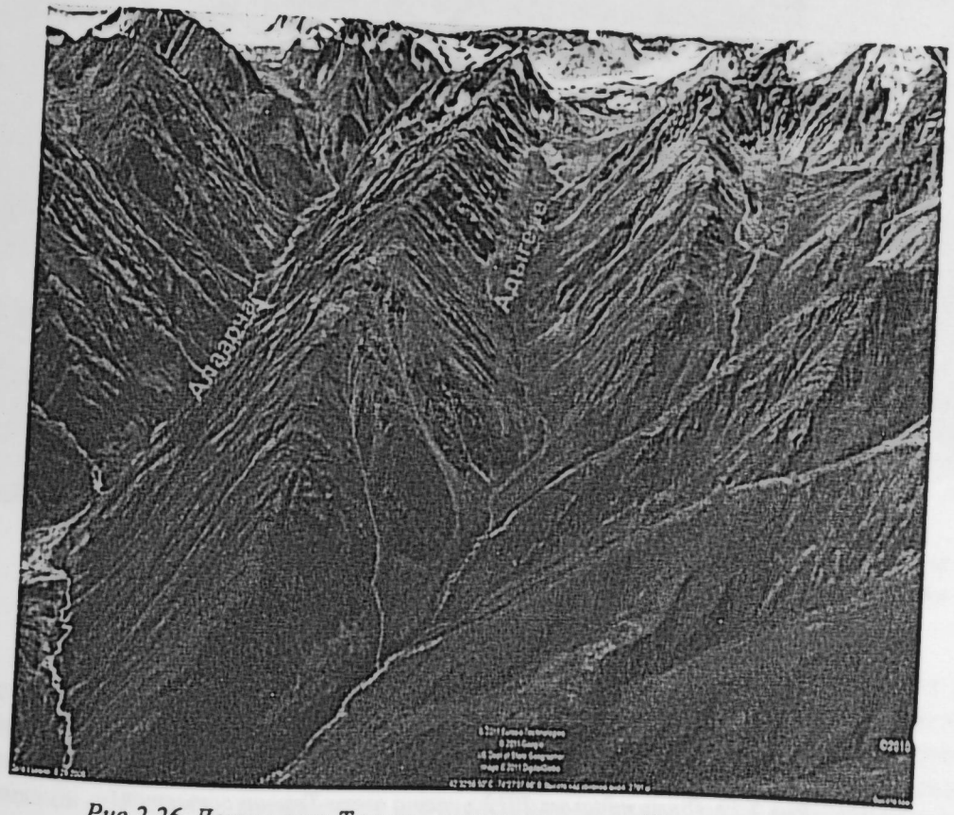


Рис.2.26. Долина реки Тезтор - левого притока р.Адыгене, которая является левым притоком р. Ала-Арча

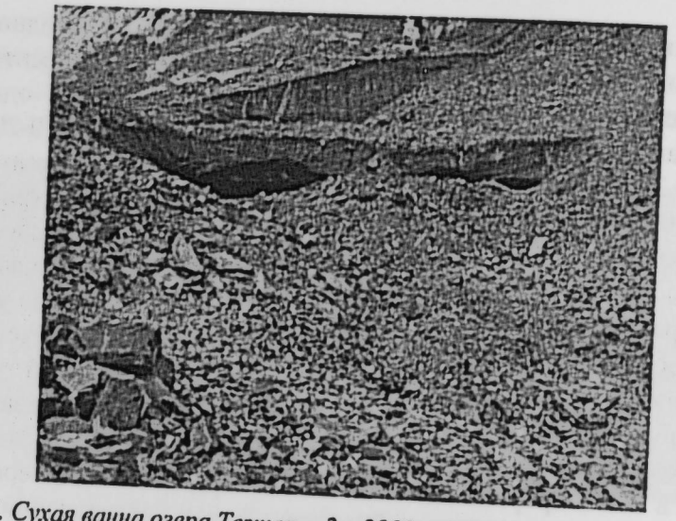


Рис.2.27. Сухая ванна озера Тезтор – 2 в 2009 году. Зияющие отверстия- это входы в ледниковый грот, через который прорвалось озер в 2004-ом году

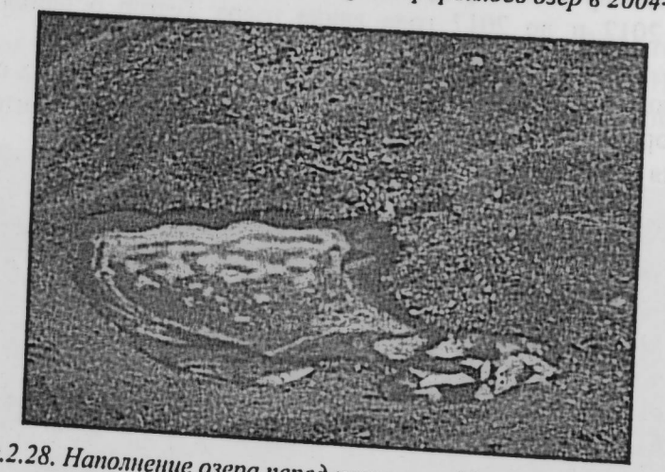


Рис.2.28. Наполнение озера перед прорывом 31 августа 2012 года



Рис.2.29. После прорыва 2012 г. ванна озера Тезтор остается почти сухой до настоящего времени

3. Источники формирования стока горных рек, наполняющих горные озера

3.1. Оценка влияния погребенных льдов на сток рек Северного Тянь-Шаня

Погребенные льды являются особой разновидностью подземных льдов. На Северном Тянь-Шане эта разновидность распространена особенно широко. Она образуется при деградации ледников, в процессе которой от них отчленяются большие массивы, так называемого, «мертвого» льда. Они перекрываются мощным моренным чехлом, который действуя как термоизолятор, замедляет таяние льда, тем самым консервируя его на долгие годы (рис. 3.1).



Рис.3.1. Обнажение погребенного льда на борту термокарстовой воронки в теле морено-ледникового комплекса ледника Кентор (бассейн реи Нооруз) на северном склоне Кыргызского хребта

Погребенный лед является важной составной частью морено-ледниковых комплексов, которые необходимо изучить, чтобы оценить роль погребенных льдов в стоке горных рек. Под морено-ледниковым комплексом понимается геологическое тело, сформированное ледником за одну эпоху оледенения в «одной физико-географической обстановке и сложенное определенным набором фаций, формирующих его внутреннюю структуру» 1985 [18]. Физико-географическая обстановка образования

морено-ледниковых комплексов определяется режимом моренной аккумуляции, в процессе которой кроме погребенных льдов участвуют грубообломочные моренные отложения. Формирование моренно-ледникового комплекса начинается в теле ледника, затем по мере деградации ледника он проявляются на дневной поверхности. Формы проявления весьма разнообразны. В зависимости от соотношения аккумуляционного и эрозионного факторов ледникового литогенеза в многообразии форм морено-ледниковых комплексов выделяются шесть типов [19].

Погребенные льды содержатся во всех формах морено-ледниковой аккумуляции: боковых, срединных и конечных моренах, но, наибольшее количество погребенных льдов содержится в конечно-моренных языках, которые образуются при формировании морено-ледниковых комплексов пятого и шестого типа. Это происходит в условиях, когда количество обломочного материала, поступающего в приконцевую часть ледника настолько превышает энергию размыва, что береговые и фронтальная морены сливаются в единый конечно-моренный язык, который благодаря высокому содержанию в нем погребенных льдов движется вниз по долине самостоятельно. На его поверхности появляются валы сползания. Между конечно-моренным языком и языком ледника образуется депрессия, в которой обычно формируется озеро (рис. 3.2).

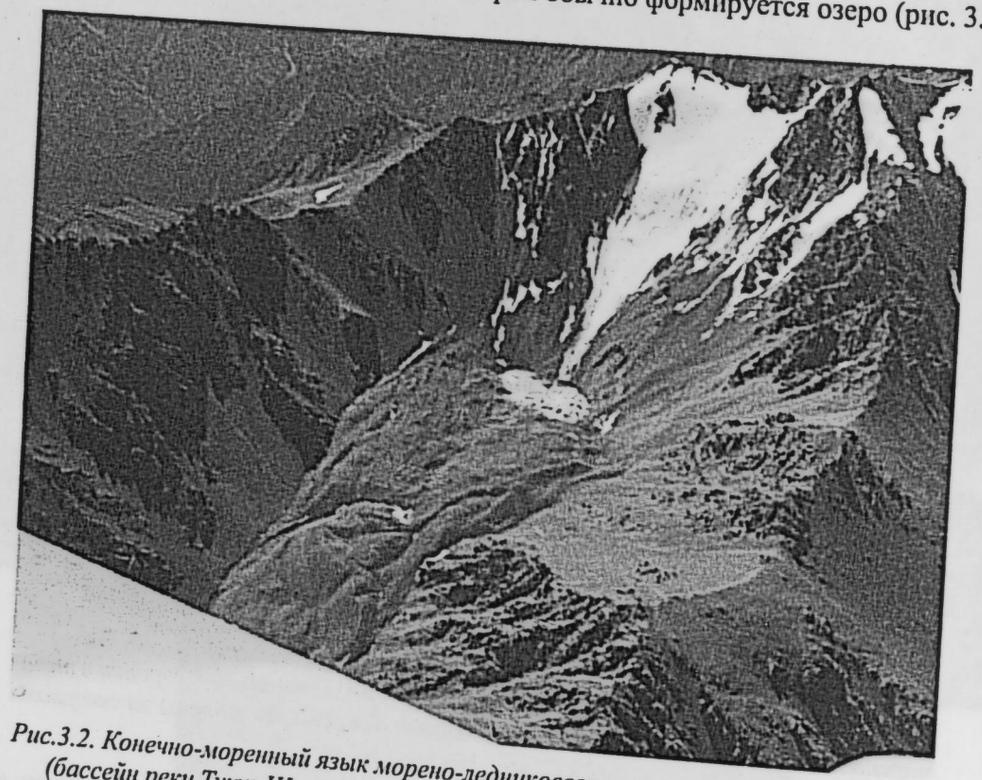


Рис.3.2. Конечно-моренный язык морено-ледникового комплекса ледника Теке-Тор (бассейн реки Туюк-Шамсинский на северном склоне Кыргызского хребта). Во внутриморенной депрессии комплекса образовалось озеро. Фото А.В.Мелешко

Конечно-моренный язык сползает вниз в долину и может продвинуться на несколько километров. Вдоль его осевой линии вытягивается внутриморенная депрессия, превращаясь в узкую извилистую ложбину, которая постепенно выклинивается в теле конечно-моренного языка (рис. 3.3).

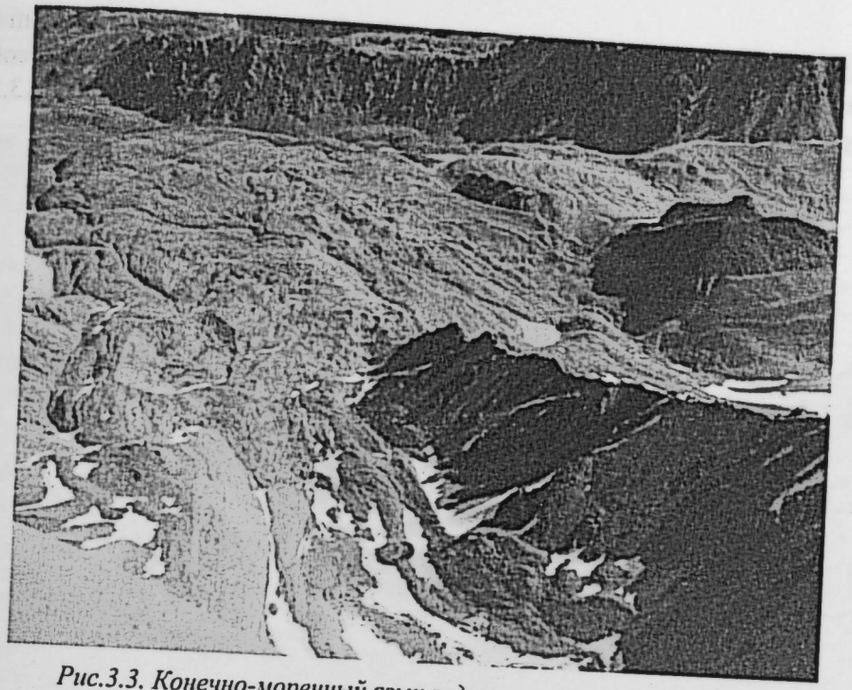


Рис.3.3. Конечно-моренный язык ледников верховийдолины реки Джеламыш, Кыргызсккого хребта, северный склоный

При трансгрессии горного оледенения погребенные льды, составляющие значительную часть морено-ледниковых языков, начинают двигаться под давлением наступающих ледников и тяжестью налегающего на них грубообломочного моренного материала. При этом формируются каменные глетчеры морено-ледникового типа (рис.3.4).

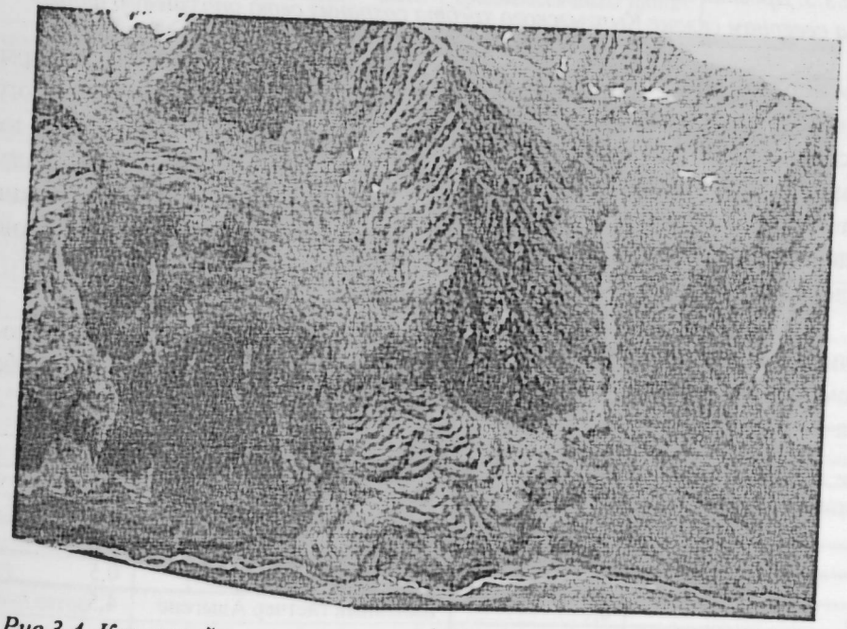


Рис.3.4. Каменный глетчер морено-ледникового типа в верховьях долины р.Аксу, северный склон Кыргызского хребта

В процессе развития состав, строение и форма морено-ледниковых комплексов изменяются. Погребенный лед вытаивает и морено-ледниковый комплекс преобразуется в моренный. При этом сохранется его форма – каменного глетчера (рис.3.5).

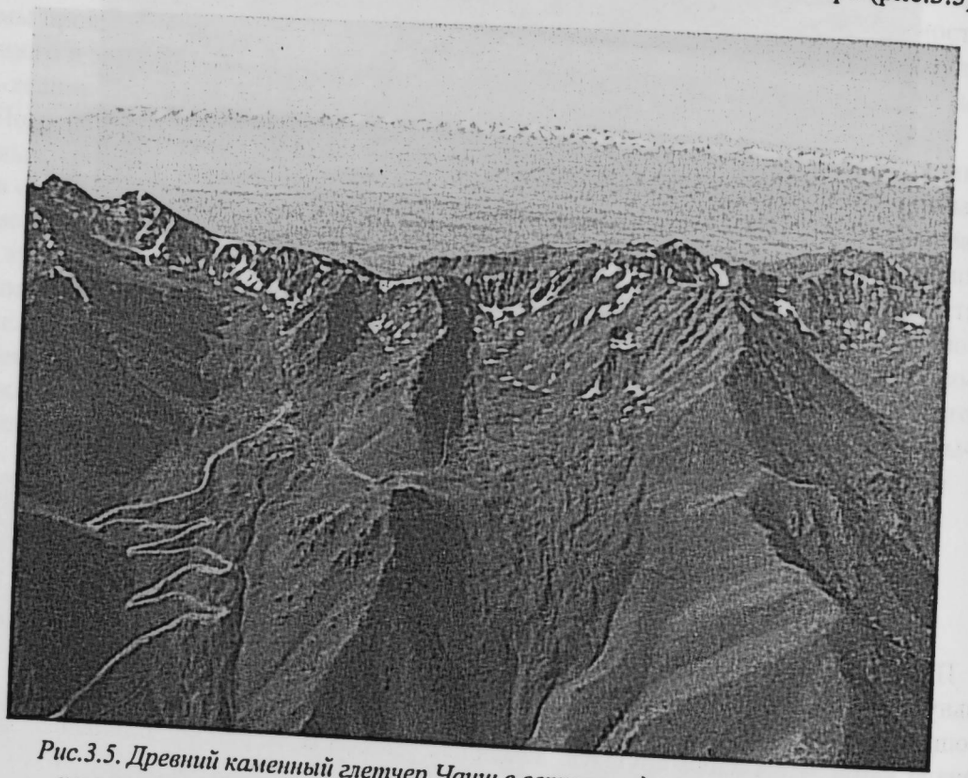


Рис.3.5. Древний каменный глетчер Чаши в верховьях долины реки Карабалта на северном склоне Кыргызского хребта сохранил свою оползневую форму

Таким образом, в процессе регресса горного оледенения в различных формах морено-ледниковой аккумуляции консервируются огромные массы погребенного льда. Так в бассейне реки Ала-Арча, где площадь оледенения составляет 53.5 км^2 [20] насчитывается 12 крупных современных каменных глетчеров, общей площадью 26.9 км^2 (табл.3.1), а вместе с другими формами морено-ледниковой аккумуляции площадь развития погребенных льдов составляет 27,2 км^2 (51 % от площади современного оледенения).

Таблица 3.1 Соотношение площадей современных ледников и их морено-ледниковых комплексов в различных формах морено-ледниковой аккумуляции в бассейне реки Ала-Арча

Название ледника и его номер в каталоге 1973 г	Площадь ледника, км^2	Моренно-ледниковый комплекс ледника	Площадь моренно-ледникового комплекса, км^2
229-231	1.8	Каменный глетчер Тезтор	2,5
232	0.7	Каменный глетчер 232	0,5
233-234	0,7	Каменный глетчер Адыгене	4,5
Адыгене, 235	4,3		
236-238	0,5	Каменный глетчер 236	0,6

239	1,0	Каменный глетчер 239	1,1
Алаарчинский ледник, 240-246	8.6	Большой Алаарчинский каменный глетчер	7,0
247	0,3	Каменный глетчер 247	0,3
248-249	0,5	Каменный глетчер 248	0,3
Голубина, 250	9.4	Боковые морены	0,3
Туюксу, 251-252	9,1	Каменный глетчер Туюксу	3,0
Топ-Карагай, 253	6,4	Каменный глетчер	3,2
Текетор, 254	0,8	Каменный глетчер	0,3
Аксай, 255-256	8,5	Боковые морены	0,5
Муратсай, 257	0,1	Вал конечной морены	0,1
Кашкасу, 258	0,8	Каменный глетчер	3,0
Всего	53,5		27.2

Погребенные льды занимают значительные площади во всех крупных и средних долинах Северного Тянь-Шаня, средняя высота водосбора которых превышает 2500 м. Исследования показывают, что степень влияния погребенных льдов на сток рек в этих долинах зависит от форм морено-ледниковой аккумуляции. Установлено, что морено-ледниковые языки уменьшают модуль ледникового стока, а другие формы (валы боковых и конечных морен) увеличивают его. В таблице 3.2 и на рис.3.6 приведены расчетные данные* по приросту июльского модуля ледникового стока по сравнению с июньским в долинах северного склона Кыргызского хребта.

Таблица 3.2 Сравнение некоторых данных* ледникового стока рек северного склона Кыргызского хребта

Название реки	Площадь оледенения в бассейне реки, км^2. Открытая и замороженная части ледников.	Прирост среднемесячного июльского расхода реки в сравнении с среднемесячным июньским расходом, м^3/сек	Прирост июльского модуля стока в сравнении с июньским, м^3/сек км^2
Кыргызский хребет			
Аламедин	72,3	8,20	0,11
Иссыката	71,4	7,35	0,10
Сокулук	57,6	6,07	0,10
Алаарча	53,5	4,82	0,09
Аксу	35,3	3,20	0,09
Шамси	31,0	2,50	0,08
Туюк-Шамсинский	25,2	2,03	0,08
Туюк-Иссыкатинский	20,6	2,10	0,10
Карабалты	20,0	1,30	0,06
Кегеты	19,7	1,10	0.06
Чон-Каниды	16,7	1,29	0,08
Чонкурчак	12,8	0,43	0.03
Джеламыш	12,1	0,43	0,04
Кызылсу	8,9	0,59	0,07
Аксай	8,5	0,67	0,08
Адыгене	7,5	0,74	0,10
Джарды-Каниды	5,9	0,85	0,14
Кашкасу	0,8	-0,19	-0,24
Терскей-Алатоо			
Турасу	4,5	0,54	0,12
Актерек	14,9	1,01	0,07

Аксай	46,1	3,09	0,07
Тон	34,9	2,27	0,06
Тоссор	20,1	2,90	0,14
Тамга	6,7	1,36	0,20
Барскаун	34,6	4,95	0,14
Чон-Джаргылчак	12,9	2,58	0,20
Джуука	47,9	8,74	0.18
Кичи-Кызылсу	3,5	0,24	0,07
Чон-Кызылсу	43,3	3,78	0,09
Джетыогуз	33,1	4,0	0,12
Ирдык	4,0	-0,11	-0,03
Каракол	58,3	5,7	0,10
Аксу-Арасан	68,0	3,70	0,05
Тургеньаксу	33,2	2,90	0,09
Джиргалан	2,5	-2,73	-1,09
Тюп	4,2	-4,1	-0,98
Кунгей-Алатоо			
Аксу	12,1	0,55	0,05
Чон-Аксу	65,2	4,02	0,06
Чолпоната	10,3	0,81	0,08
Чон-Койсу	6,1	0,91	0,15
Таласский хребет			
Уч-Кошой	1,1	0,1	0,09
Колба	4,5	0,61	0,14
Бешташ	7,1	-1,44	-0,20
Урмарал	34,9	5,6	0,16
Кумыштаг	3,3	-1,01	-0,31
Карабура	25,0	3,26	0,13
Бакаирсай	10,1	0,63	0,10
Куркуреусу	38,1	6,25	0,16

*Данные получены из материалов гидрологических ежегодников (Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 14. 1967, 1977, 1979; Государственный водный кадастр. Том XI. Киргизская ССР. 1987) и каталогов ледников (Каталог ледников СССР. Т.14. 1968, 1973, Забиров 1975)

Из данных таблицы 3.2 следует два вывода:

1) прирост среднемесячного июльского расхода рек относительно среднемесячного июньского расхода тесно связан с размерами площади современного оледенения в долинах (рис.3.6). Коэффициент корреляции, отражающий тесноту этой связи, составляет 0,86;

2) по величине прироста модуля июльского стока относительно модуля июньского стока, реки разделяются на четыре типа (каждый тип выделен в таблице своим цветом).

Первый тип (синий) объединяет реки с приростом июльского модуля на 0,07-0,09 $м^3/сек.\ км^2$. Этот прирост обеспечивается талыми водами, стекающими в русла рек непосредственно с поверхности ледников.

В реках второго типа (красный) прирост составляет 0,10-0,25 $м^3/сек\ км^2$. Талые воды ледников, прежде чем попасть в русла рек этого типа, фильтруются через комплекс морено-ледниковых образований из валов боковых и конечных морен, содержащих погребенные льды. В процессе фильтрации через моренно-ледниковые образования талые воды ледников пополняются талыми водами погребенных льдов, что

увеличивает прирост их модуля в 1,4-2.8 раза, относительно прироста модуля чисто ледникового стока.

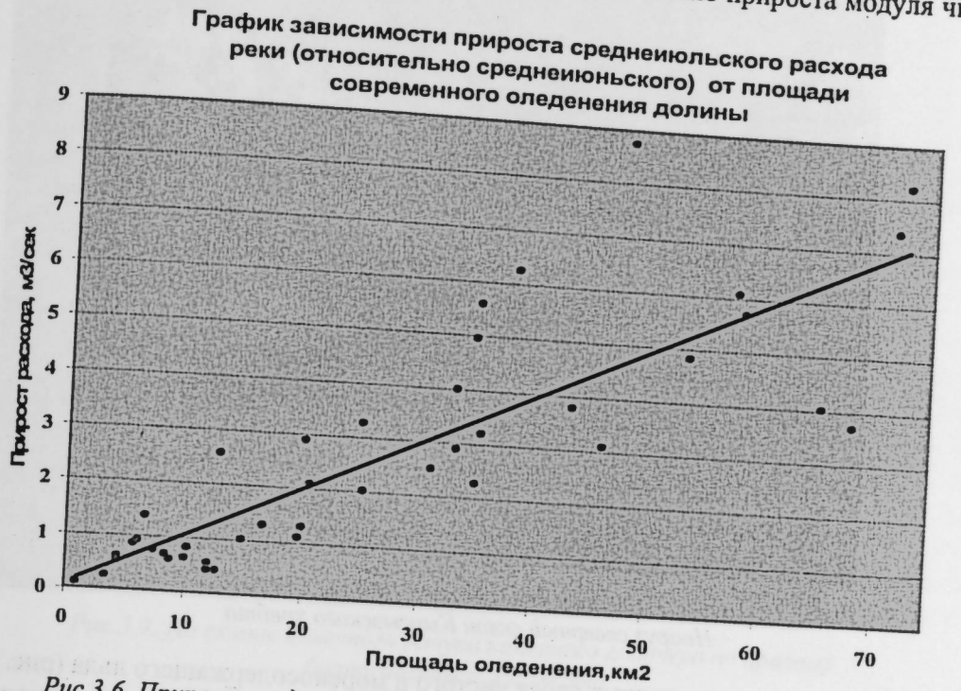


Рис.3.6. Прирост среднемесячного июльского расхода реки относительно среднемесячного июньского расхода зависит от площади оледенения в долине

Прирост модуля стока в реках третьего типа (зеленый цвет) составляет всего 0,03-0,06 $м^3/сек\ км^2$. Он в 1,5-2,3 раза меньше чем прирост чисто ледникового стока, как на реках первого типа. Причиной этого уменьшения прироста являются мощные моренные образования в виде конечно-моренных языков, состоящие на 50-70% из погребенных льдов. Через эти конечно-моренные образования фильтруются талые воды ледников прежде чем попасть в русла рек. При этом погребенные льды конечно-моренных языков охлаждают часть ледникового стока до замораживания и консервации, что обуславливает уменьшение прироста модуля ледникового стока (в 1,5-2,3 раза) по сравнению с чисто ледниковым.

На реках четвертого типа (черный цвет) в июле модуль стока ниже, чем в июне, т.е. прироста ледникового стока не только нет, а происходит его полное поглощение конечно-моренно-ледниковыми образованиями. Талые воды, стекающие с ледников в процессе фильтрации через эти образования, замерзают, благодаря охлаждающему действию погребенных льдов, и тем самым пополняют их объем. Увеличение объема погребенных льдов обуславливает возможность их течения вниз по долинам, чем объясняется динамичность конечно-моренных языков и преобразование их в каменные глетчеры (рис. 3.7).

Подтверждением этого заключения является живучесть конечно-моренных языков, ледяная составляющая которых постоянно пополняется на столько, что они сохраняют динамику движения породивших их ледников и преобразуются в каменные глетчеры. Доказательством современной живучести последних являются:

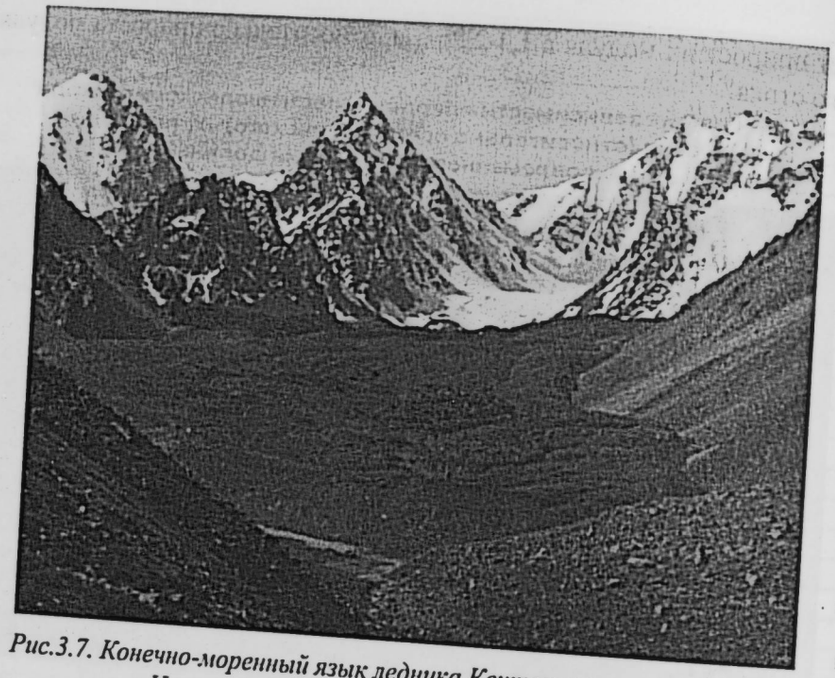


Рис.3.7. Конечно-моренный язык ледника Кентор в веховьях долины р. Нооруз северный склон Кыргызского хребта

1) обнажения в них мощных слоев чистого и мореносодержащего льда (рис. 3.8);

2) активность обвально-осыпных и селевых процессов на склонах их конечных уступов (рис.3.9).

3) их динамичность в виде активного сползания по горным склонам из боковых на днища главных долин (рис.3.10).



Рис.3.8.Обнажение слоев погребенного льда на склоне конечного уступа каменного глетчера в верховьях долины р. Иссыката, северный склон Кыргызского хребта

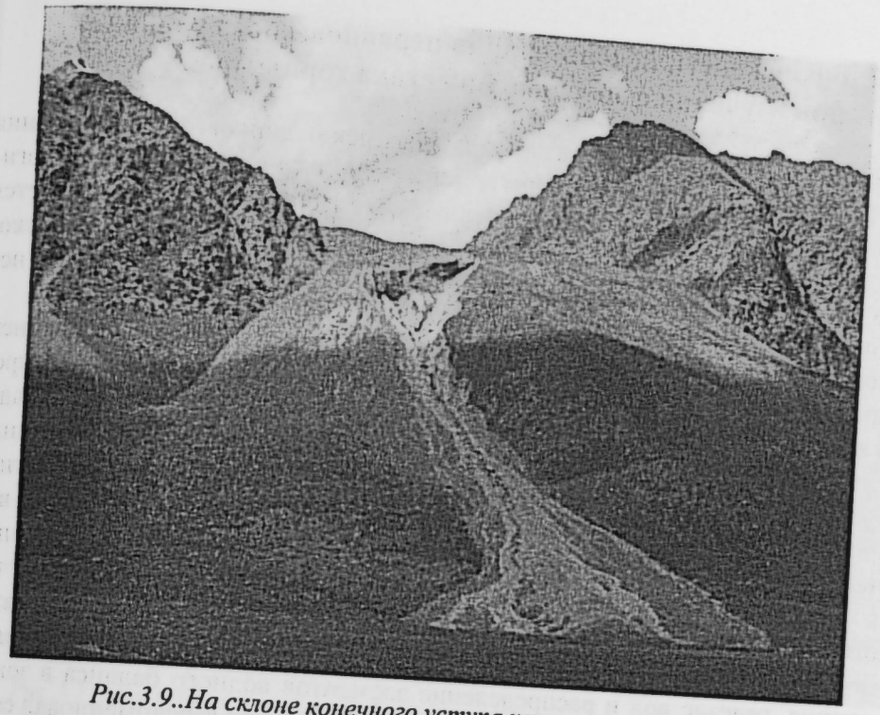


Рис.3.9..На склоне конечного уступа каменного глетчера по правому борту долины р. Иссыката



Рис.3.10.Сползание каменного глетчера из боковой на днище главной р. Иссыката

Таким образом, ледниковый сток горных рек Северного Тянь-Шаня в значительной мере зависит от погребенных льдов, которые в зависимости от формы их конечно-моренных образований, могут увеличивать или уменьшать его модуль.

3.2. Возможности использования неравновесного урана при изучении формирования стока горных рек

Исследование генетического состава вод горных рек ледникового типа питани в условиях изменяющегося климата для регионов с недостаточной сетью гидрологических наблюдений, каковыми являются основные реки Центральной Азии, остается актуальной задачей. Публикации об особенностях формирования стока рек при ускоряющейся в последнее время деградации оледенения скудны и противоречивы, нет сведений о причинах ухудшающегося качества вод [21-26].

Исследованию возможностей решения этих актуальных задач с использованием неравновесного урана как естественного радиоактивного индикатора природных процессов посвящены работы [27-41]. Показано, что атмосферные осадки и чистые льды содержат ультранизкие, но измеримые концентрации урана с равновесным в единицах активности соотношением его четных изотопов. Приповерхностные воды активной циркуляции обогащаются ураном путем его растворения и выщелачивания из водовмещающих пород. Напорные воды глубокой циркуляции отличаются от приповерхностных максимальным отклонением отношения $^{234}U/^{238}U$ от равновесия за счет преимущественного выщелачивания ^{234}U из коренных пород без обогащения материнским изотопом. Эти отличия позволяют по неравновесному урану изучать динамику оледенения, генезис вод и распределение элементов водного баланса в зонах формирования стока горных рек [30,32, 36, 38]. Метод хорошо зарекомендовал себя при изучении радиоэкологического состояния вод [39, 47, 50, 51]. В ряде работ метод использован для оценки водных ресурсов слабоизученных трансграничных рек [27, 28, 33, 35]. Методические особенности измерений изотопного состава урана в водах с ультранизкими концентрациями, каковыми являются атмосферные осадки, ледники и приледниковые воды, изложены в работах [30, 31, 34, 42, 43].

3.2.1. Вариации изотопного состава урана и генетический состав оверхностных и подземных вод бассейна р.Чон-Кызыл-Суу

Бассейн р. Чон-Кызыл-Суу среди речных бассейнов Иссык-Кульской котловины наименее подвержен антропогенному влиянию и наиболее радиологически чист [33, 39]. Климатические, метеорологические и гляциологические условия бассейна детально изучены в течение последних 75 лет Тянь-Шанской физико-географической станцией, преобразованной с 2012 г. в Тянь-Шанский высокогорный научный центр [25, 64 - 48]. Формирование речного стока здесь происходит на расстоянии не более 20 км за счет поверхностных и погруженных в приповерхностные отложения талых вод ледников и снега (рис.3.11) [39].

В работах [33,39] по уран-изотопным показателям было выявлено, что доля чисто атмосферных вод в питании р.Чон-Кызыл-Суу уменьшается вниз по течению от 100 до 60-70%, а доля погруженных в приповерхностные отложения грунтовых вод активного водообмена возрастает до 30-40%, соответственно, при незначительной доле вод глубинной циркуляции.



Рис.3.11. Бассейн р.Чон-Кызыл-Суу: а – ледниковая зона; б – зона формирования стока; в –бассейн, зона формирования стока обозначена красной границей; зеленые - гидропосты; крсным – метеостанции, где проведено уран-изотопное опробование

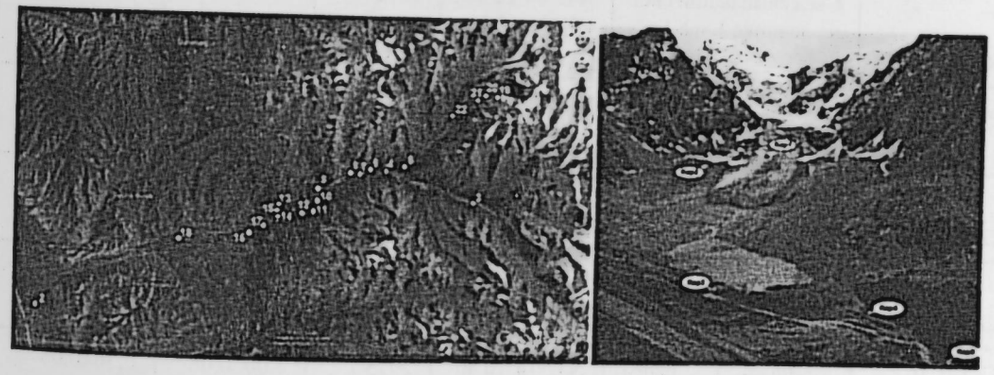


Рис.3.12. Область формирования стока р.Чон-Кызылсу: a– ледник Карабаткак с местами отбора проб талых вод (фото В.Шатравина); b–точки отбора проб вод в 2016-2018 гг.

В 2015-2016 гг. работы по изучению изотопного состава урана в водах этого бассейна проводились нами в зоне формирования стока бассейна на высотах от 3600 до 1740 м, не затрагивая зону рассеяния стока до разгрузки в озеро Иссык-Куль. В 2018 г. проведено опробование вод как в некоторых из ранее изученных источниках, так и в водах прибрежной зоны. Здесь поверхностный сток р.Чон-Кызыл-Суу почти полностью фильтруется аллювиальными отложениями, а подземные воды, как холодные приповерхностные, так и термальные глубокой циркуляции, вскрыты скважинами, которые впервые были опробованы нами на изотопный состав урана. Места опробования вод отмечены на рис.1 и охарактеризованы в нижеприведенных таблицах.

Измерения изотопного состава проводились независимо альфа-спектрометрически в Центре радиологической экологии КазНУ им. Аль-Фараби, г.Алматы [30, 31, 34] и масс-спектрометрически в Юлиховской исследовательском центре, Германия [52, 53].

В табл. 3.3 сведены результаты анализов изотопного состава урана в талых водах нивально-гляциальной зоны на высотах свыше 2900 м, где формируется чисто снего-ледниковый сток бассейна. Приведенные данные свидетельствуют о сохранении радиологической чистоты ледниковых и приледниковых талых вод бассейна в течение 4-х лет (2015-2018 гг.). В них ультранизкое содержание урана - в среднем 0,2±0,1 ppb (10^{-6} г/л) при равновесном в единицах альфа-активности отношении $^{234}U/^{238}U$= 1,03±0,03.

Таблица 3.3. Изотопы урана в ледниковых водах верховьев р.Чон-Кызыл-Суу

Шифр проб - год отбора	Место опробования	Координаты	Высота, м	$^{234}U/^{238}U$	$C_U{}^6$, мкг/л
Кар1-15	Лед с поверхности ледника Карабаткак	N42°09'14.82 E78°16'08.95	3500	1,00±0,04	0,17±0,04
KZS19-16	Лед с поверхности ледника Карабаткак	N42°09'14.80 E78°16'08.95	3500	1,29±0,17	0,14±0,04
2К-18	Свежевыпавший снег на леднике Кара-Баткак	N42°09'22.50 E78°16'10.55	3385	1,07±0,07	0,22 ±0,05
Кар2-15	Старый лед с ледника Карабаткак	N42°09'22.50 E78°16'10.55	3385	1,05±0,05	0,32±0,05
KZS20-16	Вода из озера Карабаткак	N42°9'32.50 E78°16'13.55	3380	0,84±0,07	0,40±0,06
KZS6-16	Ручей с ледника Айлама	N42°11'58.0 E78°11'48.0	2960	0,99±0,09	0,20±0,03
KZS21-16	Р.Кашкатор перед р.Айлама	N42°14'10.40 E78°14'15.30	2975	1,00±0,08	0,36±0,06
Средневзвешенное для приледниковых талых вод				1,03±0,03	0,2±0,1

Приведенные данные свидетельствуют о сохранении радиологической чистоты ледниковых и приледниковых талых вод бассейна в течение 4-х лет (2015-2018 гг.). В них ультранизкое содержание урана - в среднем 0,2±0,1 ppb (10^{-6} г/л) при равновесном в единицах альфа-активности отношении $^{234}U/^{238}U$= 1,03±0,03. В водах, выклинивающихся из-под морено-ледниковых отложений и формирующих сток верховьев р. Чон-Кызыл-Суу, содержание урана увеличивается на порядок за счет его растворения из моренных отложений (табл. 3.4) при сохранении равновесия изотопного отношения $^{234}U/^{238}U$ в пределах двукратной погрешности измерений.

Таблица 3.4. Обогащение ураном приледниковых вод бассейна р.Чон-Кызыл-Суу

Шифр проб - год отбора	Место отбора	Координаты	Высота, м	$^{234}U/^{238}U$	$C_U.10^{-6}$ г/л
Кар4-15	Родник из-под ледника Кашкатор	N42°10'17.39 E78°15'00.39	2980	0,92±0,08	1,00±0,08
Кар5-15	Р.Кашкатор, исток из-под ледника	N42°10'15.39 E78°15'00.03	2962	1,00±0,05	1,38±0,09
1К-18	То же	Там же	То же	0,99 ±0,05	2,0 ±0,2
KZS5-16	Устье р.Кашкатор	N42°14'10.43 E78°14'15.30	2942	1,09±0,04	2,9±0,1
К13-18	То же	Там же	То же	1,08±0,05	6,3±0,2
KZS22-16	Устье р.Айлама	N42°10'17.39 E78°15'00.39	2940	1,07±0,05	1,5±0,1
Пределы изменений уран-изотопных параметров в приледниковых водах				0,99 – 1,09	1,0 – 6,3

В табл. 3.5 приведены и на рис.3.12 изображены (в виде диаграммы зависимости относительного избытка ^{234}U от общего содержания урана) результаты определения изотопного состава урана в основных источниках бассейна.

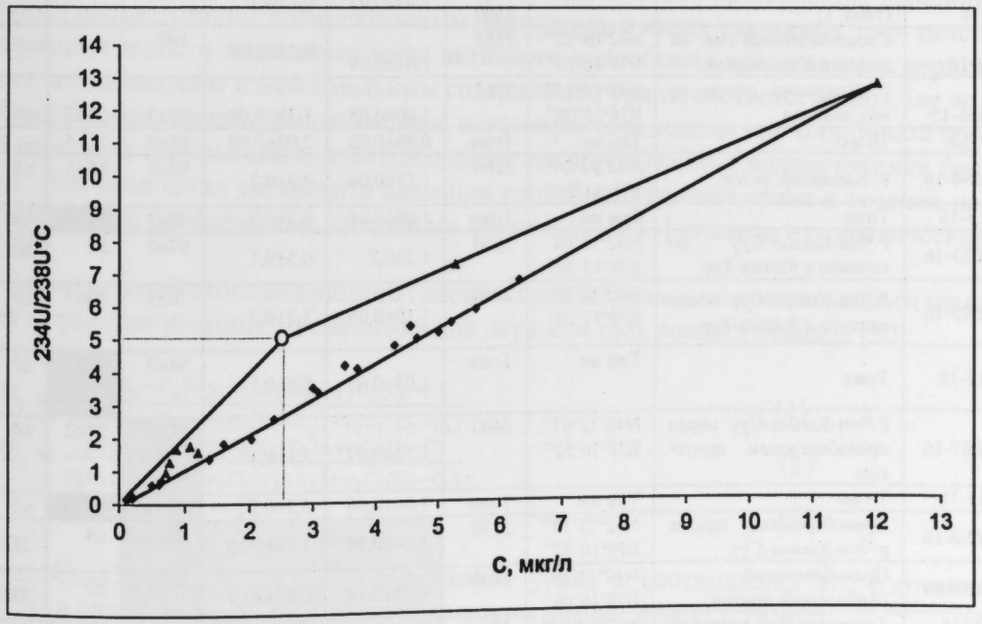


Рис.3.12. Уран-изотопная диаграмма вод бассейна р.Чон-Кызыл-Суу

Из данных табл.3 видно, что по изотопному составу урана в водах, формирующих сток р.Чон-Кызыл-Суу, можно выделить, как это отмечалось нами и ранее [8-14] три генетических типа вод:

1. Чисто ледниково-снеговые воды с минимальным содержанием урана и равновесным соотношением его четных изотопов (выделено голубым, табл.3).

2. Подземные воды зон активного водообмена, вскрытые водопроводной скважиной на побережье оз. Иссык-Куль, отличающиеся повышенным содержанием урана при сохранении в пределах двукратной погрешности измерений радиоактивного равновесия между ^{234}U и ^{238}U (выделено красным, табл. 3).

3. Воды глубокой циркуляции с максимальным избытком ^{234}U над ^{238}U при сравнительно низких концентрациях урана (выделено желтым, табл.3). Эти воды в наиболее чистом виде выклиниваются естественным путем термальными источниками в районе Джилису (пробы KZS15-16, 16K-18). Видимо, здесь проходит тектонический разлом, по которому происходит подъём глубинных вод. Воды с близкими уран-изотопными параметрами обнаружены в двух правобережных притоках, формирующихся в этом районе (пробы KZS8-16, KZS9-16), а также вскрыты термальной скважиной в прибрежной зоне Иссык-Куля (проба 4K-18). Содержание урана в них не превышает $(0,1 - 1,0)\times10^{-6}$г/л , а отношение $^{234}U/^{238}U$ с учетом погрешностей измерений меняется от 1,5 до 2,1.

Таблица 3.5. Изотопы урана и генетический состав вод бассейна р.Чон-Кызыл-Суу

Шифр проб-год отбора	Место отбора	Координаты	Высота	$^{234}U/^{238}U$	C_U ,10^{-6} г/л	Генетический состав вод %		
						1	2	3
2015-2018	Ледниковые воды по (табл. 1)		3385-3500	1,03±0,03	0,2±0,1	100		
K2-18	Свежевыпавший снег на леднике Кара-Баткак	N42°09'22" E78°16'10"	3385	1,07±0,09	0,22±0,08	100		
Кар5-15	р. Кашкатор, исток из под ледника	N42°10'15" E78°15'00"	2962	1,00±0,05	1,38±0,09	87±3	13±3	-
K1-18	То же	Там же	Тоже	0,99±0,03	2,02±0,08	85±5	15±5	-
KZS4-16	Р. Кашкатор, устье	N42°12'24" E78°11'24"	2560	1,11±0,04	4,3±0,2	65±5	35±5	≤5
K13-18	Тоже	Там же	Тоже	1,08±0,05	6,3±0,2	48±3	52±3	≤3
KZS3-16	Р.Чон-Кызыл-Суу до слияния с Кашка-Тор	N42°11'04 E78°12'30	2570	1,2±0,2	0,5±0,1	97±5	3	≤3
KZS5-16	Р.Чон-Кызыл-Суу после слияния с Кашка-Тор	N42°12'28" E78°11'24"	2550	1,10±0,05	3,7±0,2	70±5	30±5	≤5
K12-18	Тоже	Там же	Тоже	1,05±0,05	5,6±0,1	54±3	46±3	≤3
KZS7-16	Р.Чон-Кызыл-Суу перед правобережным притоком	N42°12'47" E78°10'52"	2400	1,12±0,07	3,1±0,1	72±2	24±2	±4
K11-18	То же	Там же	Тоже	1,06±0,06	5,2±0,2	57±5	43±5	±5
KZS8-16	Правобережный приток р.Чон-Кызыл-Суу	N42°13'13" E78°10'32"	2430	1,64±0,14	1,08±0,10	70±2	≤4	28±2
KZS9-16	Правобережный наибольший приток	N42°13'18" E78°10'06"	2400	1,92±0,14	0,87±0,07	67±3	≤6	33±3
KZS15-16	Термальный источник верхний Джилису	N42°14'07" E78°09'02"	2200	1,83±0,13	0,19±0,06	-	-	100
16K-18	То же	Там же	Тоже	1,84±0,13	0,10±0,06	-	-	100
KZS13-16	Холодный родник выше термальных источников	N42°14'07" E78°09'02"	2230	1,34±0,13	4,55±0,08	44±5	33±4	23±3
8K-18	То же	Там же	Тоже	1,39±0,08	5,3±0,1	≤4	68±2	32±2
9K-16	Р.Чон-Кызыл-Суу у термальных источников		2190	1,08±0,06	2,4±0,1	85±4	15±4	≤4

7K-18	То же	Там же	Тоже	1,18±0,08	1,6±0,1	63±4	33±4	≤8
KZS18-16	Р.Чон-Кызыл-Суу, Лесной кордон	N42°12'28" E78°11'24"	2000	1,18±0,06	3,0±0,2	65±5	20±5	15±5
KZS2-16	Р.Чон-Кызыл-Суу, ТШВНЦ	N42°12'08" E78°11'04	1740	1,21±0,06	3,5±0,2	56±5	25±5	19±5
6K-18	То же	Там же	Тоже	1,08±0,06	4,65±0,06	62±5	38±5	≤5
K15-18	Р. Чон- Кызыл=Суу у автотрассы	N42°19'33" E78°03'44"	1700	1,03 ±0,03	5,0±0,1	60±5	40±5	-
5K-18	Холодная скважина "Марко Поло"	N42°27'49" E77°56'28"	1620	1,07 ±0,03	12±1	-	100	-
4K-18	Термальная скважина "Марко Поло"	N42°27'47" E77°56'30"	1619	1,70±0,08	0,77±0,03	≤10	±10	90±10
Экстраполировано для вод глубокой циркуляции				2,25	2,5			100
3K-18	Вода оз. Иссык-Куль	N42°27'52" E77°56'31"	1606	1,215±0,005	41±4			

На основе полученных данных построена диаграмма зависимости относительного избытка $^{234}U/^{238}U\times C$ от содержания урана в водах С (рис. 3.12). В дополнение к опубликованным ранее данным [8] на рис.3.12 внесены уран-изотопные параметры вод, опробованных в 2018 г. Диаграмма представляет собой треугольник, вершины которого соответствуют уран-изотопным параметрам в водах указанных трех типов. Ледниковые воды и подземные воды активного водообмена представлены вершинами с минимальным и максимальным содержанием урана, соответственно. Для вод глубинной циркуляции уран-изотопные параметры определены как координата третьей вершины треугольника, охватывающего все опробованные водоисточники бассейна. Это позволило установить вариации изотопного состава урана в течение нескольких лет и по формулам изотопного смешения [8, 13] оценить их генетический состав.

Расчеты долей стока вод разного генезиса производились по предложенным нами ранее формулам изотопного смешения для двух или трех водоисточников [30]:

$$V_1 = \frac{\gamma C(C_3-C_2)+\gamma_1 C_2(C-C_3)+\gamma_3 C_3(C_2-C)}{\gamma_1 C_1(C_3-C_2)+\gamma_2 C_2(C_1-C_3)+\gamma_3 C_3(C_2-C_1)} \quad (1)$$

$$V_2 = \frac{\gamma C(C_1-C_3)+\gamma_3 C_3(C-C_1)+\gamma_1 C_1(C_3-C)}{\gamma_1 C_1(C_3-C_2)+\gamma_2 C_2(C_1-C_3)+\gamma_3 C_3(C_2-C_1)} \quad (2)$$

$$V_3 = 1 - V_2 - V_3, \quad (3)$$

где C_1, C_2, C_3,C; $\gamma_1,\gamma_2,\gamma_3,\gamma$ – содержание урана и соотношения его изотопов $^{234}U/^{238}U$ в сливающихся потоках и в суммарном потоке, соответственно.

При слиянии двух источников формулы (1,2) упрощаются:

$$V_1 = (^{234}U/^{238}U_2.C_2 - {}^{234}U/^{238}U.C) / (^{234}U/^{238}U_2.C_2 - {}^{234}U/^{238}U_1.C_1), \quad (4)$$

$$V_2 = 1 - V_1. \quad (5)$$

Погрешности при расчетах пропорций смешения вод разных типов в каждом водоисточнике выражались в процентах (3 последние колонки табл.3) и находились как среднеквадратичные отклонения для серии измерений [47].

Данае таблицы 3 свидетельствуют о том, что доля чисто ледниковых вод в поверхностном стоке ро.Чон-Кызлл-Суу уменьшается вдоль по течению, а доля вод, погруженных в приповерхносте отложения увеличивается. Кроме того, было обнаружено, что содержание урана в поверхностных водах бассейна в 2018 г оказалось в среднем в 1,5 раза выше, чем в 2016 г. Это может быть связано с ускорением таяния ледников региона и увеличением доли погруженных в моренные отложения талых вод. Последние за счет контакта с водовмещающими породами обогащаются ураном уже в приледниковой зоне, что видно на повышении содержания урана в водах р. Кашкатор от ее истока к устью (пробы Кар5-15, К1-18, KZS4-16, К13-18, табл. 3). Это приводит к уменьшению доли чисто ледникового стока и увеличению доли стока из приповерхностной зоны активного водообмена. Доля вод глубинной циркуляции в питании реки невелика и в основном находится в пределах погрешностей определений.

Хотя бассейн р.Чон-Кызыл-Суу остается радиологически чистым, но повышение содержания урана в поверхностных водах говорит о необходимости постановки мониторинговых исследований изотопного состава урана в водах бассейна. Это может дать ценную информацию о влиянии климатических изменений на генетический состав вод бассейна и их качество.

3.2.2. Особенности формирования стока бассейна р. Ала-Арча по неравновесному урану

Ниже изложены особенности формирования водных ресурсов бассейна р.Ала-Арча по обобщенным уран-изотопным данным, полученным в разные годы.

Выбор района исследований обусловлен тем, что р. Ала-Арча является источником питьевого и хозяйственного водоснабжения столицы Кыргызской Республики г. Бишкек, а подземные воды конусов ее выноса являются трансграничными с Республикой Казахстан.

Исследования проводились в зоне формирования стока р. Ала-Арча: приледниковых зонах морено-ледниковых комплексов Адыгене и Тезтор, в истоках рек Аксай и Ала-Арча и в устьях основных притоков бассейна (рис.3.13-3.15).

Поверхностный сток формируется в горной части бассейна за счет атмосферных осадков и таяния ледников, река относится к ледниково-снеговому типу питания. Площадь бассейна 233 км^2, средняя высота водосбора 3290 м н.у.м [21, 26]. На пути формирования стока Ала-Арча принимает ряд притоков, наиболее крупные из них: левые - Адыгене и Кадыберды; правые –Аксай, Муратсай, Карагай-Булак, Кашка-Суу. Площади водосбора притоков, следующие: Адыгене - 37,9 км^2, Аксай - 28,2 км^2, Кашка-Суу - 26 км^2, Кадыберды - 20,1км^2, Карагайбулак -7,7 км^2, Муратсай - 5,9 км^2 [44, 45]. Зона формирования стока заканчивается на высоте 1560 м н.у.м после впадения р.Кашкасу.

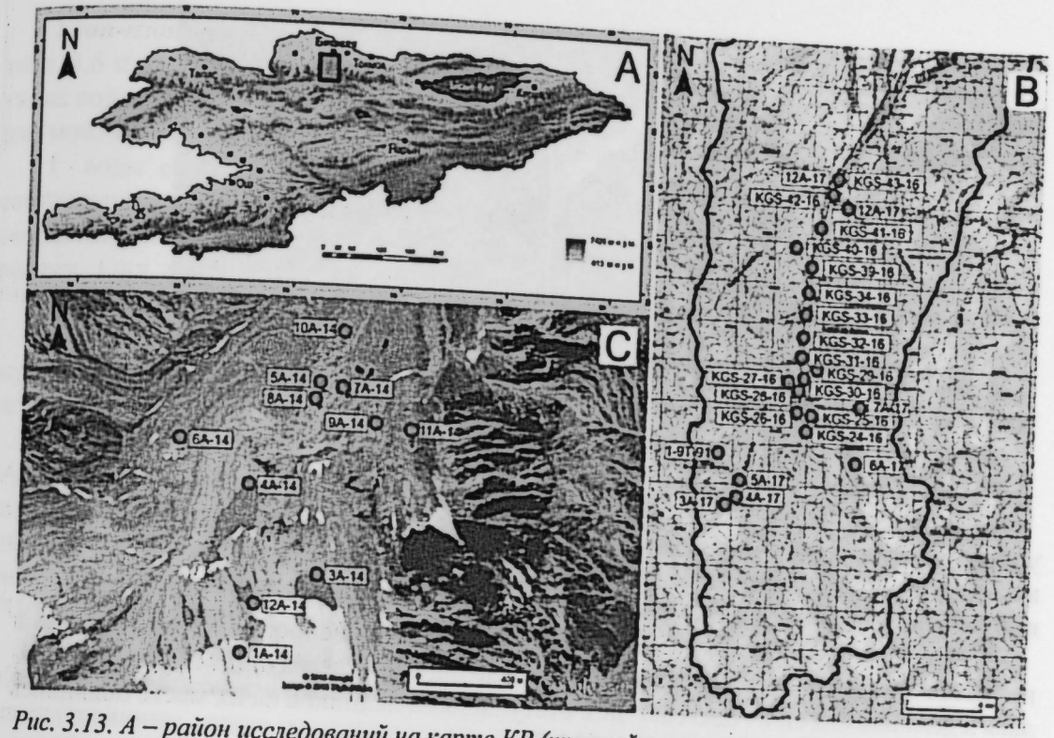


Рис. 3.13. А – район исследований на карте КР (красный прямоугольник); В - места отбора проб воды из основных притоков р.Ала-Арча в 2016 – 2017 гг.; С - места отбора проб воды, снега и льда в морено-ледниковом комплексе Адыгене в 2014 - 2016 г. (После номера и шифра проб приведен год отбора в период половодья)

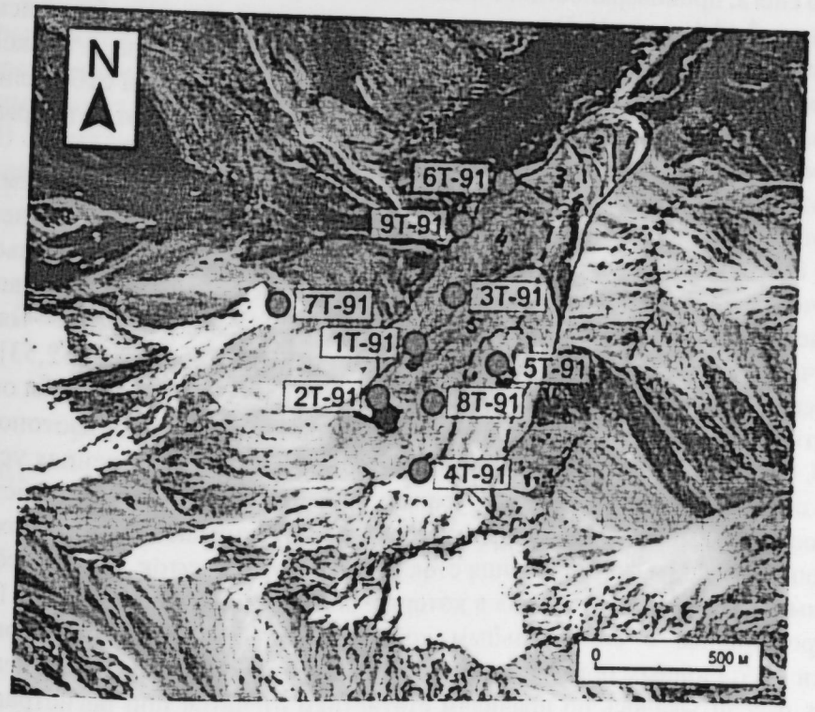


Рис.3.14. Места отбора проб в морено-ледниковом комплексе Тезтор в 1991 г.

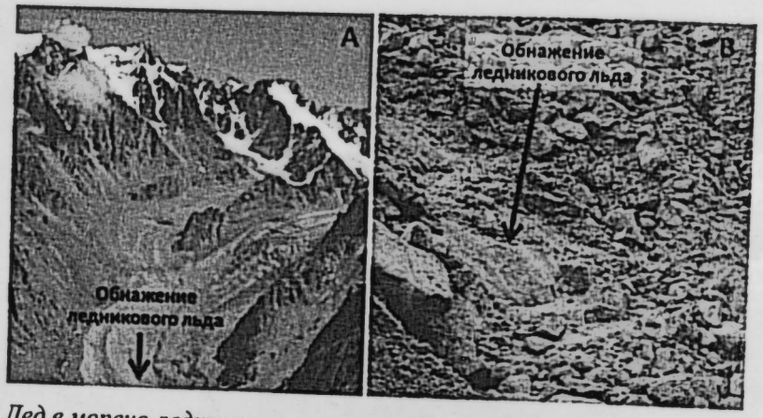


Рис.3.15. Лед в морено-ледниковом комплексе Аксай (верховья бассейна р. Ала-Арча).

Русла р. Ала-Арча и ее притоков в горной части характеризуются большими уклонами, бурными течениями и опасностью селевых потоков из-за прорывов высокогорных озер. Максимальные среднемесячные модули стока бассейна р. Ала-Арча приходятся на летние месяцы и изменяются от 27 до 173 л/с.км^2 [45,47].

В бассейне р.Ала-Арча за последние 50 лет ледники непрерывно сокращались и потеряли 18,3±5,0% общей площади. Особенно ощутимо деградация ледников сказалась в долинах Аксай и Адыгене, где с отступлением ледников на их месте появились прорывоопасные для региона озера [24-32].

В период с 1991 по 2017 г. в летние месяцы в моренно-ледниковых комплексах Аксай, Адыгене и Тезтор проводился отбор на изотопный состав урана проб свежевыпавшего снега, приповерхностного льда и воды из озер, образующихся при таянии ледников (рис.3.14 С, табл.1). Во время половодий (июль-август) отбирались пробы воды основных притоков, формирующих сток бассейна р.Ала-Арча, а также из родников, выклинивающихся у русла реки (рис.3.15 В, табл.2). Пробы отбирались в периоды максимального стока при проведении мониторинговых работ за прорывоопасностью озер.

Методика отбора проб, концентрирования из них урана, его радиохимической очистки от других элементов и радионуклидов подробно описана нами ранее [7-10]. Как и для бассейна р.Чон-Кызылсуу, изотопный состав урана измерялся альфа-спектрометрически в лаборатории радиоэкологии имени М.Кюри Казахского национального университета им.Аль-Фараби (г.Алматы) [30, 31, 34] и независимо – масс-спектрометрически в Юлиховском исследовательском центре (Германия) [52,53].

Погрешность измерений изотопного состава урана для каждой пробы определялась статистикой числа зарегистрированных актов альфа-распада изотопов урана-234 и 238. Время регистрации при альфа-спектрометрических измерениях устанавливалось в зависимости от содержания урана в пробе для достижения статистической погрешности не выше 1-10 % и составляло от нескольких часов для поверхностных и подземных вод зоны формирования стока до нескольких суток для атмосферных и ледниковых вод, содержание урана в которых не превышало 10^{-6} г/л (ppb). Все измерения проводились с еженедельным контролем стабильности регистрирующих устройств по эталонным образцам. Осреднение погрешностей при многократных измерениях рассчитывалось по правилам статистики отсчетов при регистрации ядерных частиц [53].

Уран-изотопные особенности вод в приледниковой области бассейна. В табл. 3.6 и на рис.3.16 приведены результаты изучения изотопного состава урана в талых водах приледниковой области бассейна. Эти воды по уран изотопным параметрам можно разделить на несколько групп:

1 - воды с минимальным содержанием урана (0,03- 0,39).10^{-6} ppb и равновесным соотношением $^{234}U/^{238}U$ (пробы 1А , 3А, 2Т, А16). Это воды атмосферных осадков - свежевыпавшего снега и чистого льда, не контактирующего с водовмещающими породами. Они отмечены в табл.3.6 голубым, для них средневзвешенные значения $^{234}U/^{238}U$= 1,00±0,03, С=0,2±0,1.

2 - воды, максимально обогащенные ураном за счет растворения урана из приповерхностных водовмещающих пород без нарушения радиоактивного равновесия его четных изотопов (проба 11А, отмечена красным в табл.3.6).

3 - воды с заметным избытком ^{234}U без значительного обогащения ураном (проба 4А, из озера, образованного во внутриморенной депрессии) в какой-то мере характеризует воды глубокой циркуляции по зонам разломов, проявляющиеся в виде естественных выходов напорных термальных вод в ближайшем бассейне р.Аламедин. Ранее было показано, что у них следующие уран-изотопные параметры: С=12±3 ppb, $^{234}U/^{238}U$=1,3 - 1,5 [54].

4 - воды, в разной степени обогащенные ураном с небольшим дефицитом или избытком дочернего изотопа, что может быть связано как с растворением, так и с выщелачиванием урана из разрушенных пород (большинство опробованных источников). Они представляют собой смесь в разных пропорциях вод первых двух типов - чистых атмосферных осадков и приповерхностных вод, контактирующих с водовмещающими породами.

Из рис. 4 видно, что все опробованные источники приледниковой области в пределах погрешностей измерений сгруппированы на одной прямой «атмосферные осадки – приповерхностные воды, обогащенные ураном». Следовательно, они формируются именно из этих вод. Доля атмосферных осадков в 15 из них, найденная по формуле (4) составляет 90±10 %, 4 представляют чисто атмосферные осадки, в двух доля приповерхностных вод не более 50%.

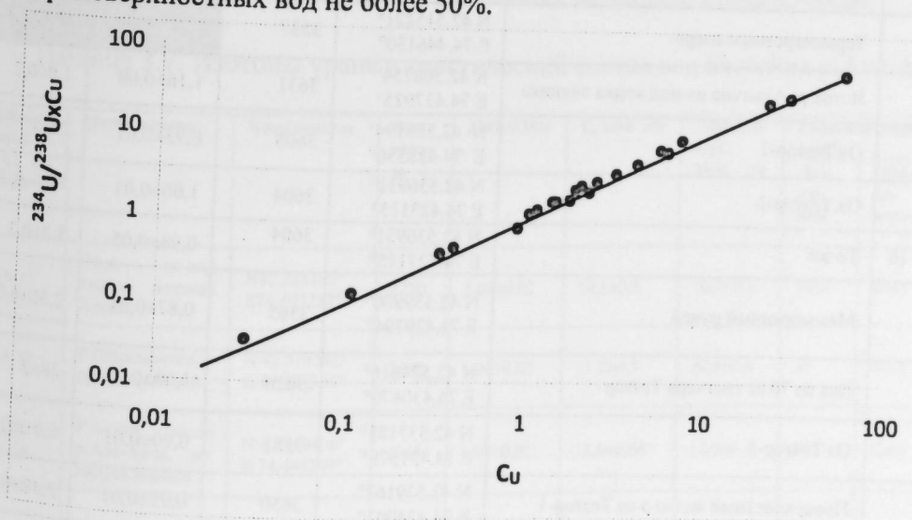


Рис.3.16. Уран-изотопная диаграмма приледниковых вод бассейна р. Ала-Арча

Таблица 3.6. Изотопы урана в талых водах приледниковых областей бассейна р.Ала-Арча

Шифр проб - год отбора	Место отбора	Координаты (десятичные градусы, WGS84)	Высота, м н.у.м	$^{234}U/^{238}U$	С, 10^{-6} г/л
A16-18	Свежий снег на конусе выноса р.Аксай	N 42.549406° E 74.486369°	2255	1,0±0,04	0,03±0,01
1A-14	Снег с ледника Адыгене	N 42.507263° E 74.437350°	3658	1,00±0,04	0,11± 0,01
3A-14	Приледниковое озеро	N 42.509954° E 74.441155°	3633	1,00±0,04	0,33±0,04
6T-91	Снеговые осадки за ночь	N 42.544178° E 74.432549°	3443	1,02±0,02	0,39±0,02
4A-14	Озеро внутриморенной депрессии	N 42.512942° E 74.438181°	3590	1,26±0,07	0,7±0,2
3A-17	Моренно-ледниковое озеро Адыгене большое	N 42,512021° E 74,437061°	3586	1,07±0,09	2,2±0,1
5A-14	Термокарстовое озеро	N 42.516764° E 74.441062°	3532	0,98±0,04	1,4±0,2
6A-14	Термокарстовое озеро	N 42.514496° E 74.433921°	3628	1,04±0,04	1,40±0,17
4A-17	Оз.Адыгене малое	N 42,514644° E 74,441898°	3510	1,11±0,06	3,8±0,2
7A-14	Термокарстовое озеро	N 42.516730° E 74.443061°	3530	1,10±0,05	1,54±0,05
8A-14	Термокарстовое озеро	N 42.516302° E 74.440983°	3528	1,14±0,08	1,50±0,08
9A-14	Термокарстовое озеро	N 42.515337° E 74.444004°	3524	0,92±0,08	2,0±0,3
10A-14	Термокарстовое озеро	N 42.518724° E 74.442201°	3534	0,97±0,08	4,1±0,7
11A-14	Термокарстовое озеро	N 42.515221° E 74.446130°	3537	1,01±0,04	54,6±0,2
12A-14	Исток р. Адыгене из-под языка ледника	N 42.508754° E 74.437925°	3631	1,16±0,08	1,9±0,2
1T-91	Оз.Тезтор-1	N 42.538194° E 74.428330°	3603	0,93±0,01	23±1
2T-91	Оз.Тезтор-2	N 42.536931° E 74.427115°	3604	1,00±0,01	1,14±0,03
KZS37-16	То же	N 42.536931° E 74.427115°	3604	0,98±0,05	3,2±0,2
3T-91	Межморенный ручей	N 42.539900° E 74.429794°	3565	0,87±0,01	2,30±0,06
4T-91	Лед из 70 кг глетчера Тезтор	N 42.534816° E 74.430670°	3620	1,00±0,01	28±2
5T-91	Оз Тезтор-3	N 42.537185° E 74.431579°	3581	0,90±0,01	6,0±0,2
7T-91	Поверхностный лед ю-з оз.Тезтор-1	N 42.539167° E 74.424002°	3650	0,95±0,01	2,48±0,08
8T-91	Морений лед с-в оз. Тезтор-1	N 42.537389° E 74.429853°	3594	0,86±0,01	8,2±0,3
9T-91	Ледниковая вода из-под морены	N 42.541720° E 74.429436°	3525	0,99±0,02	1,03±0,04
KZS35-16	То же	N 42.541720° E 74.429436°	3525	1,00±0,04	1,40±0,09
KZS36-16	Тезтор, вода из-под фронтальной морены	N 42.546636° E 74.435303°	3500	1,06±0,03	5,7±0,3

Уран-изотопные параметры вод, формирующих сток бассейна р. Ала-Арча. В табл. 3.7 приведены результаты изучения изотопного состава урана в основных источниках, ответственных за формирование стока р. Ала-Арча. Различия в уран-изотопных параметрах здесь четко видны в уже верховьях бассейна при впадении р. Аксай в Ала-Арчу.

Воды р.Аксай, формирующиеся из одноименного морено-ледникового комплекса, при равновесном соотношении $^{234}U/^{238}U$ обогащены ураном (10-12 ppb, 6A-17, KZS-17), в то время как в водах верховьев р.Ала-Арча содержание урана в 2,5 раза ниже при заметном избытке ^{234}U. Это говорит о разном генезисе этих двух истоков бассейна: в и истоках р. Ала-Арчи присутствуют воды с избытком ^{234}U, образующимся за счет его преимущественного выщелачивания при глубинной циркуляции в трещиноватых коренных породах. Истоки же р.Аксай формируются за счет ледниковых вод, обогащенных ураном при его растворении в процессе длительных процессов активной криосолифлюкции с приповерхностными водовмещающими моренными отложениями. Отличия уран-изотопных параметров позволяют оценить долю стока р.Аксай, что невозможно сделать гидрометрическим методом, поскольку значительная часть ее стока в районе впадения в р. Ала-Арча погружается в мигрирующий конус выноса. По формуле (4) находим, что доля стока р. Аксай на момент отбора проб (72±12) %. При постановке режимных наблюдений за изотопным составом урана в водах можно будет судить о временных вариациях стока р.Аксай.

Таблица 3.7. Изотопы урана и генетический состав вод бассейна р.Ала-Арча

Шифр проб - год отбора	Место отбора	Координаты	Высота, м	234U/238U	С, 10-6 г/л	234U/238 UxC, 10-6 г/л	Генетический состав вод,%		
							Ледников.	Приповерхн.	Глубинные
6A-17	Сток из-под языка ледника Аксай	N42,325190° E74,305257°	2720	1,02±0,02	10,1±0,3	10,3±0,3	56±5	44±5	±5
7A-17	Р.Шаркыратма, приток р.Аксай	N 42.578345° E 74.481366°	2680	1,06±0,02	21,2±0,5	22,5±0,6	±1	80±5	20±5
KZS-25-16	Р.Аксай перед р.Ала-Арча, юг конуса выноса	N 42,549406° E 74,486369°	2253	1,03±0,02	11,6±0,04	12,0±0,4	48±5	52±5	±5
A12-18	Р.Аксай, то же	То же	Тоже	0,96±0,04	19±1	19±1			

KZS-24-16	р.Ала-Арча перед Аксай	N 42,549406° E 74,486369°	2260	1,18±0,02	4,1±0,2	4,8±0,2	79±4	12±4	9±4
A13-18	Р.Ала-Арча перед р.Аксай	Тоже	Тоже	1,14±0,02	8,7±0,2	9,9			
KZS-26-16	Р.Ала-Арча после впадения р.Аксай	N 42.551881° E 74.483796°		1,15±0,02	8,7±0,2	10,0±0,2	56±3	27±3	17±3
A14-18	Р.Ала-Арча после р.Аксай	Тоже	Тоже	1,12±0,06	15,8	17,7			
5A-17	Выклинивание из-под морены, исток р.Адыгене	N 42,539644° E 74,454441°	2971	1,05±0,06	1,6±0,2	1,7±0,3	84±4	14±3	±2
A11-18	р.Адыгене, 1 км выше устья	N 42,574026° E 74,477140°	2136	1,05	5,26	5,5			
KZS-27-16	Р.Адыгене, устье	N 42,573447° E 74,479604°	2093	1,11±0,07	3,5±0,2	3,9±0,3	93±4	±2	7±2
12 A-91	То же	N 42,573447° E 74,479604°		1,08±0,01	1,9±0,1	2,05±0,2	95±4	±2	±5
A9-18	Р.Ала-Арча перед р.Адыгене и родником			1,06±0,06	11,8±0,2	12,5			
KZS-28-16	Родник, правый борт р.Ала-Арча перед р.Адыгене	N 42,572421 E 74,482035	2083	1,11±0,07	19,0±0,6	21±2	±5	90±10	±5
2A-17	То же	N 42,572421° E 74,482035°	2083	1,05±0,02	22,5±0,5	23±1		100	
A8-18	То же	То же	То же	1,00 ±0,02	22,7±0,5	22,7		100	
A10-18	Р.Ала-Арча перед р.Адыгене ниже родника	То же	То же	1,11±0,05	11,2±0,6	12,4			
A15-18	Родник для «Шоро-Легенда»)			1,06±0,05	14,7±0,5	15,6			
KZS-29-16	Р.Ала-Арча ниже р.Адыгене и родника	N42, 578129° E74, 481663°	2091	1,15±0,01	8,1±0,2	9,3±0,2	42±5	52±5	±5
KZS-30-16	Р.Муратсай, устье	N 42.578345° E 74.481366°	2010	1,38±0,08	0,35±0,09	0,5±0,3	99±5	-	±5
8A-17	Р.Муратсай	N 42.578345° E 74.481366°	1900	1,54±0,08	0,98±0,08	1,5±0,1	94±6	-	±6
13A-91	*То же*	N 42,578345° E 74,481366	*2000*	*1,33±0,02*	*0,59±0,02*	*0,78±0,03*	97±3	-	±3
A7-18	Р.Муратсай, устье	То же	Тоже	1,51±0,08	0,80±0,08	*1,21*			

KZS-31-16	Р.Ала-Арча после впадения р.Муратсай	N 42,459198° E 74,623130°	1755	1,24±0,07	6,5±0,4	8,0±1,5	61±5	15±5	20±5
KZS-32-16	Р.Ала-Арча перед Р.Карагай-Булак,	N 42,466301 E 74,669110	1734	1,02±0,05	7,6±0,5	7,7±0,6	57±5	18±5	25±5
KZS-33-16	Р.Карагай-Булак, устье	N 42,472022 E 74,666091	1680	1,20±0,04	7,2±0,2	8,6	83±7	10±7	±7
KZS-34-16	Р.Ала-Арча после р.Карагай-Булак	N 42,490367 E 74,649337	1688	1,17±0,04	6,8±0,3	8,0±0,4	63±5	32±5	±5
A6-18	Р.Ала-Арча перед Р.Катырберды			1,09±0,08	10,9±0,1	11,9			
KZS-40-16	Р.Катырберды, устье	N42,629647 E 74,491147°	1696	1,22±0,02	4,9±0,3	6,0±0,4	85±3	12±3	±3
A4-18	Р.Катырберды, устье	Тоже	Тоже	1,17 ±0,02	7,0±0,2	8,2			
KZS-41-16	Р.Ала-Арча после р.Катырберды	N42,629922° E 74,491808°	1690	1,12±0,03	8,3±0,4	9,3±0,5	65±5	18±5	17±5
A5-18	Р.Ала-Арча после Р.Катырберды	Тоже	Тоже	1,11±0,05	10,5	11,7			
9A-17	р. Ала-Арча перед р.Кашкасуу	N 42,656898° E 74,498214°	1550	1,15±0,01	8,9±0,3	10,2±0,4	58±4	42±4	±8
A3-18	Р.Ала-Арча перед Р.Кашкасу	Тоже	Тоже	1,05±0,05	11,3±0,2	11,9			
KZS-42-16	Р.Кашкасуу, устье	N 42.657200° E 74.498572°	1548	1,24±0,01	8,2±0,3	10,2±0,4	60±5	20±5	20±5
10A-17	р.Кашкасуу	N 42.657050° E 74.498815°	1555	1,13±0,02	15,8±0,4	17,9±0,5	20±6	54±6	26±6
A2-18	Р.Кашкасу, устье	Тоже	Тоже	1,15	8,7±0,3	10,0			
11A-17	Родник Кашкасуу	N 42,656653° E 74,498531°	1552	1,22±0,02	15,9±0,4	19,4±0,5	12±6	41±6	47±6
KZS-43-16	Р.Ала-арча после р.Кашкасу	N 42,657546° E 74,498650°	1547	1,13±0,01	5,2±0,3	5,9±0,4	50±5	33±5	17±5
12A-17	р. Ала-Арча после р.Кашасуу	N 42,657546° E 74,498650°	1547	1,13±0,02	15,6±0,4	17,6±0,5	22±6	54±6	24±6
A1-18	Р.Ала-Арча после Р.Кашкасу	Тоже	Тоже	1,08±0,04	10,2±0,2	11			

Изотопные параметры остальных опробованных источников свидетельствуют о том, что они являются смесью описанных выше трех генетических типов вод, обнаруженных в приледниковой зоне. Это наглядно демонстрируют уран-изотопные диаграммы (рис.3.17-3.18), на которых все опробованные источники укладываются в своеобразные треугольники с вершинами, соответствующими водам выделенных трех типов и являются их смесью.

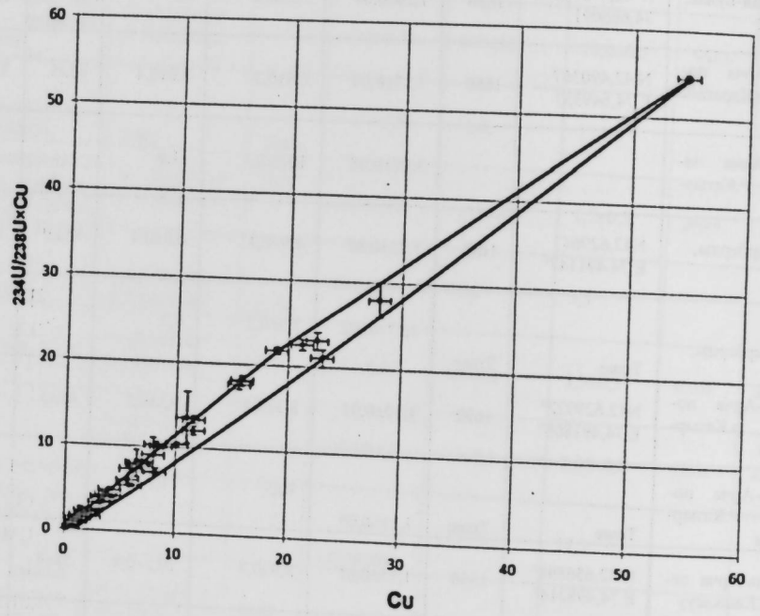


Рис.3.17. Уран-изотопная диаграмма всех опробованных вод бассейна р.Ала-Арча

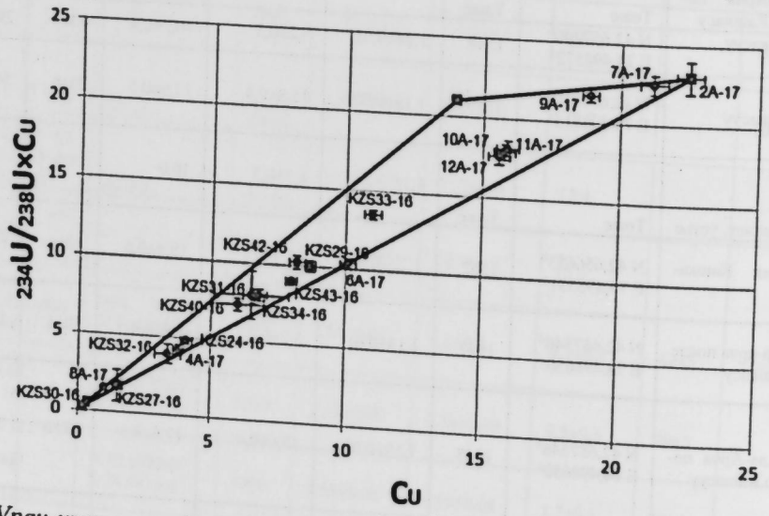


Рис.3.18. Уран-изотопная диаграмма вод бассейна р.Ала-Арча без приледниковой части

Одна из вершин с координатами (0,2; 0,2) характеризует чисто атмосферные воды (пробы 1А-14, 3А-14). Другая вершина с координатами (22,5; 23,0) – это приповерхностные воды, обогащенные ураном (пробы 2А-17, 7А-17). Третья вершина

найдена как пересечение двух сторон треугольника, охватывающих все опробованные водоисточники. Её координаты (C= 14, $^{234}U/^{238}U$xC=21) характеризуют естественные выходы глубинных вод региона (C=14 ppb, $^{234}U/^{238}U$=1,5). Такие воды обнаружены ранее, как указано выше, в водах термальных родников в соседней речной долине Аламедин [54].

Используя эти уран-изотопные параметры вод трех генетических типов, были рассчитаны их в каждом опробованном водоисточнике бассейна р.Ала-Арча (последние 3 столбца табл. 2) по приведенным в разделе 3 формулам (1-3) смешения трех источников.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что поверхностные воды бассейна в зоне формирования стока не менее чем наполовину – чисто снего-ледниковые с постепенным незначительным увеличением вниз по руслу р.Ала-Арча доли приповерхностных вод. Исключение составляют воды р. Шаркыратма, одного из истоков р.Аксай – это почти полностью воды приповерхностного генезиса.

Доля глубинных вод в питании поверхностного стока стока не превышает 5-25 %. Подземные воды опробованных родников различного генезиса. Воды родника по правому борту р.Ала-Арча перед впадением р.Адыгене (проба 2А-17) приповерхностные, а воды родника в приустьевой части р.Кашкасуу (проба 11А-17) почти наполовину глубинные и наполовину приповерхностные.

Из результатов опробования одних и тех же источников в разные годы следует, что при довольно стабильном отношении $^{234}U/^{238}U$ в водах каждого из них содержание урана претерпевает значительные изменения во времени. В целом обнаружено увеличение содержания урана в водах большинства источников в 2017-2018 гг. по сравнению с 2016 г., что скорее всего связано с климатическими особенностями этих лет и свидетельствует об уменьшении доли атмосферного и увеличении доли приповерхностного стока. По гидрологическим данным [25, 26, 55]. соотношение компонентов стока р.Ала-Арча следующее: доля грунтового стока 44 - 48%, талого снегового – 22 - 27%, ледникового – 25 -30% и дождевого – 4 - 5% от годового стока реки. Однако это данные прошлого века с неизвестной оценкой погрешности. Полученные нами результаты свидетельствуют о возможности детальной оценки уран-изотопным методом распределения стока на момент опробования. Необходимо продолжение исследований для установления пределов временных вариаций уран-изотопных параметров в водах бассейна с целью прогноза селеопасных процессов при изменении соотношения вод разного генезиса в основных источниках, формирующих сток бассейна.

Для уточнения данных по распределению генетических составляющих стока во времени требуется постановка режимных наблюдений за изотопным составом урана в водах основных источников бассейна. Это важно знать для оценки водных ресурсов, так как воды данного бассейна формируют водоносные горизонты, питающие пресной водой г.Бишкек и приграничные районы Казахстана Кроме того знание изменения генетических составляющих стока важно для прогнозирования потенциально опасных селевых потоков из-за прорывов образованных в приледниковых зонах озер. Эти потоки уже не раз наносили ущерб национальному природному парку Ала-Арча [54-62].

3.2.3. Радиоэкологические и инженерно-геологические особенности формирования стока бассейнов рек Нарын-Карадарья-Сырдарья

Основными водными артериями Центральной Азии являются реки Амударья и Сырдарья, от качества вод которых зависят условия жизнедеятельности региона в целом. Одним из критериев радиологической безопасности вод является содержание урана в них, изучению которого посвящен данный подраздел. Еще в середине прошлого столетия было обнаружено, что поверхностные воды этих рек четко отличаются как по общему содержанию урана, так и по соотношению $^{234}U/^{238}U$ [54, 56]. Причины этих отличий не выяснялись, но благодаря им удалось оценить основные этапы истории Аральского моря в верхнем голоцене и определить его абсолютный возраст [56]. Исследованиями последних лет подтверждено, что содержание урана в водах Сырдарьи заметно выше, а величина изотопного сдвига ниже, чем в водах Амударьи [30]. Выяснение причин этих различий также изложено ниже.

Гидрогеологические особенности района исследований. Изучаемая территория относится к Срединному Тянь-Шаню, куда входят хребты, обрамляющие Ферганскую и Нарынскую впадины. Площадь Срединного Тянь-Шаня сложена метаморфическими породами протерозоя, песчаниками, липаритами и конгломератами рифея-венда, терригенными толщами нижнего палеозоя и терригенно-карбонатными отложениями девона и карбона, распространенными в виде тектонических блоков и пластин. Кембрийские отложения несогласно залегают на диамиктитах джетымской серии, а каледонские представлены углисто-кремнистыми кембрийскими сланцами, слоистыми известняками, доломитами и молассами ордовика. Мощность отложений колеблется от 100 до 700 м [57].

Посткаледонский комплекс отложений представлен мощными (до 3500 м) флишоидными отложениями нижнего силура и менее развитыми отложениями девона и нижнего карбона(песчаники, известняки, глинистые сланцы). На них с несогласием залегают терригенно-флишевые отложения, сменяющиеся эффузивами и туфами общей мощностью до 5-6 км [57]. Платформенный комплекс Срединного Тянь-Шаня представлен континентальными речными и озерно-болотными отложениями.

В Ферганской впадине мощность континентальных юрских отложений достигает 4000 м. В палеогене осадконакопление происходило в межгорных впадинах, где отлагался красноцветный обломочный материал (доломитизированные известняки, карбонатно-гипсоносные породы, глины и песчаники), на которых трансгрессивно залегает толща неогеновых кирпично-красных глин мощностью до 1000 м. Четвертичные отложения представлены молассами, аллювиальными, озерными и эоловыми отложениями (песчаники, галечники, пески) [58].

По гидрогеологическим условиям исследуемый район представляет собой систему многочисленных артезианских бассейнов во впадинах. Особенность территории заключается в отсутствии благоприятных условий для накопления значительных объемов подземных вод из-за глубокой расчлененности рельефа и небольшой мощности четвертичных отложений. В пределах гидрогеологических массивов развиты воды открытой трещиноватости в протерозойских и палеозойских гранитных интрузиях, а также в породах терригенной и карбонатной формаций. Источниками питания подземных вод являются поверхностные, зачастую временно действующие, водотоки, атмосферные осадки и воды, выклинивающиеся из горных массивов.

Основной водной артерией исследуемого района является р. Нарын, которая образуется от слияния Большого и Малого Нарына. Большинство ее притоков ледниково-снегового типа питания, наиболее крупные из них: Ат-Баши, Ала-Буга, Чичкан, Узун-Ахмат, Кара-Су. При выходе в северо-восточную часть Ферганской долины после слияния Нарына с Карадарьей образуется Сырдарья.

Карадарья имеет ряд довольно крупных притоков: Кара-Кульджа, Яссы, Тентек-Сай, Кугарт, Куршаб, Ак-Бура. В Ферганскую долину с окружающих хребтов стекают реки, относящиеся к бассейну Сырдарьи, но до нее не доходящие, поскольку полностью разбираются на орошение (Падыша-Ата, Гавасай, Исфайрамсай, Шахимардан, Сох, Исфара, Ходжабакирган, Ак-Суу, Араван).

Практически весь водный сток Сырдарьи формируется в горной части бассейна. Питание преимущественно снеговое, в меньшей мере ледниковое и дождевое. Основной вклад в сток Сырдарьи вносят Нарын (36%), Карадарья (11%), реки Ферганской долины (25%), а ниже Чирчик (20%) [59]. В зоне транзита минерализация реки возрастает вниз по течению. Так, в створе кишлака Каль величина средней годовой минерализации Сырдарьи удваивается по сравнению с минерализацией воды р. Нарын. К поселку Надеждинский минерализация возрастает еще на 20 % [60].

Бассейн Сырдарьи характеризуется двумя резко выраженными системами уклонов – с востока на запад, а также с севера и юга по направлению к центру долины. На западе и в центре эти уклоны становятся меньшими, чем по периферии. Здесь концентрируется наибольшая мощность мелкоземистых отложений, что создает существенные различия гидрогеологического режима в разных частях бассейна. Если северные, восточные и южные окраины характеризуются хорошей дренированностью, глубоким залеганием грунтовых вод и большой скоростью потоков, то в центральной и западной части имеет место слабо обеспеченный сток, подпор грунтовых вод и заболачивание.

В 2005-2018 гг. на изотопный состав урана были исследованы сотни водоисточников в зонах формирования стока бассейнов рек Нарын и Майлусуу и в зонах транзита бассейнов Карадарьи и Сырдарьи [30, 36, 41, 61-64]. Все исследованные в этих работах водоисточники относятся к бассейну р.Сырдарья. Места отбора проб в сентябре 2018 г. приведены на рис.3.19. Пробы отбирались одновременно тремя полевыми отрядами: в бассейне р. Нарын сотрудниками ИВПиГЭ НАН КР, в бассейне р.Майлусуу – ими же и сотрудниками Юлиховского исследовательского центра, пробы вод р.Сырдарья на территории Узбекистана - сотрудниками Института биологии АН РУз.

Особое внимание при опробовании водоисточников было уделено бассейну сравнительно небольшой р.Майлусуу, где расположены хвостохранилища бывшего уранового производства и ведутся дискуссии об опасном радиационном загрязенении поверхностных вод, уходящих в Ферганскую долину [41,43].

На территории КР в бассейне р. Нарын отобраны воды основных притоков в Токтогульское водорхранилище (вдхр) и в самой реке от гидропоста в Уч-Терек выше вдхр до ее слияния с р.Карадарья на территории Узбекистана; в бассейне р.Майлусуу – воды реки и ее основного притока выше бывшего уранового месторождения и вниз по течению от ее верховий до границы с РУз; в бассейне р. Карадарья – пробы из самой реки, несколько ее притоков и детально – воды низовий р.Араван, где ранее [43] были обнаружены повышенные концентрации урана. Кроме того, исследованы

подземные воды нескольких родников в каждом из названных бассейнов. На рис.3.19 они помечены красными знаками. На территории РУз отобраны воды рек Нарын и Карадарья перед их впадением в Сырдарью и воды последней от истоков до пограничных районов с РТ и РК.



Рис.3.19. Схема уран-изотопного опробования вод бассейна р. Сырдарья

Изотопный состав урана в поверхностных и подземных водах определялся в Юлиховском исследовательском центре на плазменных масс-спектрометрах высокого разрешения ICP-QMS, Bruker 810-MS и MC-ICP-MS, Thermo Fisher Scientific. Результаты анализов для вод, отобранных в 2018 г., представлены в таблице и на рис.3.19. Погрешности измерений зависели от мешающих примесей в водах и от концентрации урана в них. Для вод с содержанием урана менее 1 мкг/л (ppb) статистическая погрешность не превышала 10-15%, а при более высоких его концентрациях не превышала 1-5%. Непоследовательность номеров проб на рисунке связана с одновременным отбором проб тремя полевыми отрядами. Шифром Kg-W-2018 помечены пробы, отобранные не территории КР, шифром Uz-W-2018 – на территории РУз. Проба 32 с шифром W-T-2014 отобрана в 2014 г. в водохранилище Кайраккум и является контрольной для оценки совпадения результатов измерений для проб, отобранных в разные годы. В конце таблицы приведен фон приборов.

Таблица. 3.8. Изотопы урана в водах бассейна р.Сырдарья

№ пар ис.	Шифр проб, год отбора	Место опробования	Координаты		^{238}U, ppb	$^{234}U/^{238}U$
			Широта	Долгота		
33	Kg-W-2018-1	Р.Чичкан	42°09'34.0"	72°51'28.8"	3,1±0,2	1,33±0,03
34	Kg-W-2018-2	Р.Узун-Ахмат	41°53'22.7"	72°39'14.8"	1,7±0,1	1,29±0,03
35	Kg-W-2018-3	С. ТерекСу, родник	41°53'03.2"	72°41'41.9"	6,8±0,2	1,41±0,03
36	Kg-W-2018-4	Р.Чичкан	41°54'15.7"	72°53'50.3"	3,4±0,1	1,28±0,03
37	Kg-W-2018-5	Р.Торкен	41°50'19.1"	73°09'35.1"	2,9±0,1	1,36±0,03
38	Kg-W-2018-6	Р.Нарын перед Токтогульским вдхр	41°46'04.3"	73°17'33.0"	3,5±0,2	1,64±0,02
39	Kg-W-2018-7	Родник перед вдхр	41°46'04.3"	73°17'33.2"	4,2±0,2	1,68±0,03
40	Kg-W-2018-8	Р.Саргата	41°45'57.5"	73°12'22.1"	7,0±1	1,70±0,03
41	Kg-W-2018-9	Родник	41°45'42.7"	72°56'29.3"	40±2	2,38±0,01
42	Kg-W-2018-10	Родник	41°45'07.2"	72°55'44.9"	20±2	1,44±0,01
43	Kg-W-2018-11	Токтогульское вдхр	41°44'40.4"	72°54'45.4"	2,3±0,2	1,47±0,03
44	Kg-W-2018-12	Р.Карасу	41°39'25.5"	72°49'51.3"	0,8±0,1	1,48±0,03
45	Kg-W-2018-13	Р.Карасу	41°37'22.6"	72°38'05.9"	0,9±0,1	1,46±0,03
46	Kg-W-2018-14	Р.Нарын перед р.Карасу	41°37'31.1"	72°38'01.9"	2,7±0,2	1,48±0,03
15	Kg-W-2018-15	Р.Нарын после р.Карасу	41°32'57.2"	72°29'39.1"	2,6±0,2	1,60±0,01
28	Kg-W-2018-28	Исток р.Майлусуу	41°18'46.6"	72°29'46.1"	0,31±0,03	1,62±0,03
27	Kg-W-2018-27	Приток р.Майлусуу	41°18'43.5"	72°29'37.2"	1,20±0,03	1,30±0,04
29	Kg-W-2018-29	Р.Майлусуу	41°18'33.0"	72°29'41.4"	0,35±0,03	1,68±0,03
30	Kg-W-2018-30	Родник	41°18'31.6"	72°29'40.9"	5,4±0,1	1,22±0,02
26	Kg-W-2018-26	Капельное выклинивание из-под хранилищаща №5	41°17'43.8"	72°28'37.4"	5190±10	0,91±0,01
31	Kg-W-2018-31	Р.Майлусуу	41°17'38.7"	72°28'35.6"	8±1	0,92±0,08
25	Kg-W-2018-25	Р.Майлусуу	41°11'49.8"	72°23'55.9"	5,5±0,1	1,09±0,04
17	Kg-W-2018-17	Р.Майлусуу	41°05'00.2"	72°21'15.3"	6,0±0,1	0,98±0,03
18	Kg-W-2018-18	Вода курорта Кочкор-Ата	41°02'30.2"	72°29'9.5"	0,93±0,04	1,66±0,03
19	Kg-W-2018-19	Р.Кирхатсай	40°18'09.7"	72°41'43.7"	3,5±0,1	1,38±0,03
47	Kg-W-2018-20	1-ый рукав р.Араван	40°17'53.7"	72°37'51.8"	10±1	0,97±0,03
48	Kg-W-2018-21	2-ой рукав р.Араван	40°17'52.8"	72°37'43.0"	13±1	1,10±0,03
49	Kg-W-2018-22	3-ий рукав р.Араван	40°17'53.5"	72°37'9.6"	15±1	0,97±0,03
50	Kg-W-2018-23	р.Араван	40°18'26.0"	72°38'05.1"	16±1	0,97±0,03
24	Kg-W-2018-24	Р.Кара-Дарья	40°45'41.9"	73°17'11.8"	1,26±0,04	1,17±0,04
14	Uz-W-2018-14	Р.Карадарья, Ольтикуль	40°45'58.5"	72°13'57.7"	3,6±0,3	1,30±0,03
15a	UzW-2018-15	Р.Карадарья, Ольтикуль	40°45'44.5"	72°13'04.3"	3,7±0,3	1,24±0,03
10	Uz-W-2018-10	Р.Карадарья, Джидакапа	40°55'11.5"	71°50'50.0"	5,8±0,3	1,3±0,1
13	Uz-W-2018-13	Р.Карадарья, Хожеват	40°52'59.4"	72°00'18.7"	11±1	1,22±0,03
16	Kg-W-2018-16	Р.Нарын, Шамалды-Су	41°11'16.5"	72°09'33.1"	2,6±0,1	1,62±0,04
12	Uz-W-2018-12	Р.Нарын, Кайки	41°03'23.0"	72°00'18.9"	2,7±0,2	1,61±0,01
11	Uz-W-2018-11	Р.Нарын, Джидакапа	40°56'24.2"	71°50'28.4"	2,8±0,1	1,7±0,1
9	Uz-W-2018-9	Р.Сырдарья, Мингбулак	40°53'0.37"	71°36'07.5"	16±2	1,4±0,2
8	Uz-W-2018-8	Р.Сырдарья, Джумашуй	40°52'59.7"	71°26'38.7"	14±1	1,23±0,03
7	UzbW-2018-7	Р.Сырдарья, Пап	40°50'41.9"	71° 06'3.62"	15±1	1,28±0,03

6	Uz-W-2018-6	Р.Сырдарья, Гурумсарай	40°47'44.7"	70°57'35.5"	15±1	1,18±0,03
4	Uz-W-2018-4	Р.Сырдарья, Пунгон	40°43'25.9"	70°48'55.5"	22±2	1,19±0,03
5	Uz-W-2018-5	Р.Сырдарья перед Туябугусским вдхр	40°41'51.90"	70°46'03.8"	20±2	1,19±0,03
3	Uz-W-2018-3	Туябугусское вдхр.	40°58'35.9"	69°17'41.5"	10±1	1,73±0,03
2	Uz-W-2018-2	Р.Сырдарья, граница с РК	40°54'14.4"	68°41'47.4"	14±2	1,48±0,03
32	W-T-2014-11	Кайраккумское вдхр	40°17'36.0"	69°40'37.7"	18,3±0,3	1,22±0,01
A0		Фон			0,002	

Примечание: Отбор проб для анализов проведен с 12.09 по 17.09.2018 г.

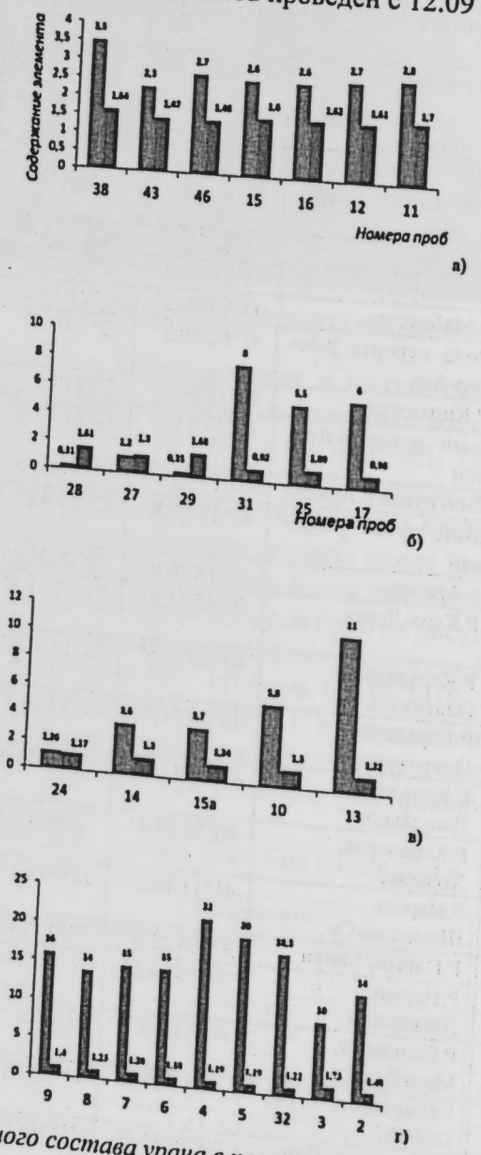


Рис.3.20 Изменение изотопного состава урана в поверхностных водах вниз по течению рек: а - Нарын, б - Майлусу, в - Карадарья, г - Сырдарья; ■ – ^{238}U, ppb; ■ – $^{234}U/^{238}U$

Содержание урана в поверхностных водах р. Нарын от гидропоста Уч-Терек перед Токтогулдьским водохранилищем (проба 38) до впадения в р.Сырдарья (пробы 46, 16,15, 12,11), в Токтогульском водохранилище (проба 43) и в основных притоках бассейна (пробы 33-37, 40,44,45) не превышает 7 ppb и не отличается от полученных ранее данных [43,62]. Повышенные концентрации урана на уровне предельно допустимых для питьевых вод концентраций (20-40 ppb [65,66].) зафиксированы лишь в подземных водах бассейна р.Нарын, выклинивающихся из-под коренных пород северных склонов Нарынского хребта (пробы 41,42).

Воды верховьев р. Майлусуу (пробы 27-29, рис.2б), формирующиеся при таянии ледников и снежников южных склонов Нарынского хребта [37-40], содержат очень низкие концентрации урана (0,3 - 1,2 ppb) при тех же изотопных сдвигах $^{234}U/^{238}U$, что и в поверхностных водах р.Нарын (1,62 – 1,68). Вниз по течению содержание урана увеличивается, но не выше 6 ppb в приустьевой части р. Майлусуу у границы с РУз, а отношение $^{234}U/^{238}U$ уменьшается практически до равновесных значений. Здесь обнаружено капельное каптированное выклинивание воды из-под хвостохранилища №5 с угрожающе высоким содержанием урана (проба 26). Однако в реке рядом с этим хвостохранилищем содержание урана не выше 9 ppb, а вниз по течению снижается до 5-6 ppb.

В среднем течении р.Карадарья на территории КР содержание урана в ее водах не превышает 1,3 ppb, а на территории РУз увеличивается вниз по течению от 3,6 до 11 ppb вплоть до впадения в р.Сырдарья. Из рек, относящихся к бассейну Сырдарьи, но не доносящих воду до нее, только в низовьях р.Араван в пограничном с РУз районе отмечены повышенные до 15-16 ppb концентрации урана (пробы 47-50, рис 2в), обнаруженные нами ранее [43]. Для выявления причин обогащения вод низовий р.Араван ураном необходимы дополнительные исследования.

Заметно повышенным содержанием урана характеризуются воды бассейна р.Сырдарья на протяжении всей исследованной зоны на территории РУз до границ с РК и РТ (пробы 2-9, 32, рис. 3.20г). Очевидно, это связано с гидрогеологическими особенностями Ферганской впадины. Как отмечалось выше, по периферии бассейна (конусы выноса рек и подгорные равнины) с большими уклонами и скоростями потоков, происходят процессы выщелачивания солей, а в центрально-западной, где региональной дреной является р.Сырдарья, имеют место незначительные уклоны с мощной толщей мелкоземистых отложений и происходят процессы аккумуляции солей. При этом создаются условия обогащения вод ураном за счет растворения из водовмещающих пород и образующихся при заболачивании органических соединений.

По изменению содержания урана в зоне транзита р.Сырдарья показано очищающее действие Кайраккумского и Туябугусского водохранилищ (пробы 1 и 4,5, рис. 3.20г). О подобном очищающем действии Токтогульского водохранилища свидетельствуют и ранее полученные данные [22]. В бассейне Сырдарьи оно четко заметно и на водах Туябугусского вдхр.: содержание урана в них вдвое меньше, чем в водах Сырдарьи выше водохраннилища (пробы 3 и 5). Видимо, это связано с осаждением урана на дно водохранилищ путем адсорбции его в донные отложения.

Таким образом, анализ результатов по содержанию урана в водах данного региона показывает, что в зонах формирования стока основных притоков р.Сырдарья на территории КР поверхностные воды радиологически чистые. Повышенные концен-

трации урана отмечены лишь в некоторых подземных водоисточниках, формирующихся в предгорных зонах Нарынского хребта, где ранее были разведаны и разрабатывались урановые месторождения. Они заметно повышают содержание урана в водах р. Майлусуу, но в пределах безопасных для поверхностных вод концентраций. В Ферганской впадине Срединного Тянь-Шаня, в зоне транзита р.Сырдарья, поверхностные воды обогащены ураном в среднем до половинных значений допустимых норм, что связано с гидрогеологическими особенностями этой части региона.

4. Водные опасные экзогенные процессы в Кыргызстане

К водным проблемам имеющим последствия социального и экономического характера с потерями жизни людей относятся георискы от экзогенных процессов и явлений.

1. Экзогенные процессы водного и гидрогеологического характера тесно взимосвязаны явлениями круговорота воды между границами гидросферы и на территории Кыргызского Тянь-Шаня проявляются в виде следующих процессов формирующих георискы и протекающих в условиях изменения климата:

а. опасности от деградации ледников; б. гидрологические и гидрогеологические мерзлотные процессы и явления; 3. селевые и паводковых риски заилений и затоплений; в. подтопления территорий от высокого подъема уроня подземных вод; г. Прорывы естественных плотин горных озер и их трансформации в сели; д. колебания уровня воды в озере Иссык-Куль; е. искусственные колебания уровня воды в Токтогульском водохранилище и процессы терассирования и береработки берегов; и. процессы формирования лавин и их угрозы автомобильным дорогам и иным объектам; ж. процессы десквамации в образовании осыпей и камнепадов (Рис.1) [67-70].

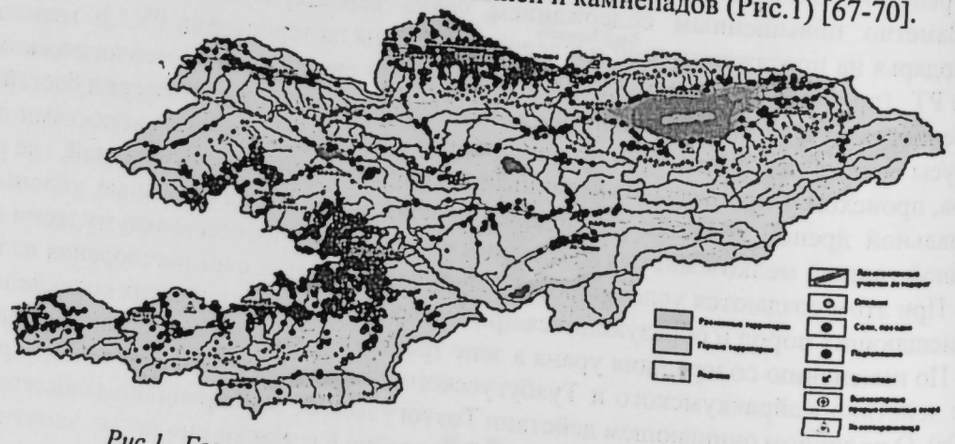


Рис.1 . Геоэкорискы водного характера от проявления экзогенных процессов на территории Кыргызстана

По литературным первоисточникам на территории Тянь-Шаня насчитывается более 8000 ледников. Площадь оледенения составляет 7,3 тыс. км^2 или занимают площадь 4,2 % от ее территории. Запасы пресной воды, законсервированные в горных ледниках, оцениваются в 650 млрд м^3. За период 1960–2005 гг. на Заилийском Алатау

(горный хребет на северо-западе Тянь-Шаня) исчезло около 100 ледников; зона оледенения Западного Тянь-Шаня (Пскемский хребет) за 20 лет сократилась на 16,8% [67-70].

Горные ледники подразделяются на: долинные, висячие, каровые с их комплексными сочетаниями. Наиболее низкий уровень снеговой линией спускается в среднем на высоты 3200-3400 м. Средние скорости движения ледников изменяются от нескольких десятков до нескольких сотен метров в год. Количество и площадь распространения ледников по хребтам и баасейнам рек следующее по данным Усубалиева Р.А, Абыл меизовой Б.У. (2011): 1. Алайский 1360 ледников. Их площадь 957 км^2. 2. Кыргызский 607 ледников площадью 530,4 км^2. Крупный ледник "Голубина", имеет длину 5,5 км, площадь – 9,4 км^2. 3. Какшаал-Тоо 600 ледников, их площадь 90, 76 км^2. 4. Бассейн реки Джангак 400 ледников. Их площадь 400 км^2. 5. 5. Бассейн реки Сары-Джаз на 24% покрыт ледниками, их число 340 а площадь 1581 км^2. Самый крупный ледник Энилчек, делится на южный и северный. Площадь "Южный Энилчек" равна 613 км^2, "Северный Энилчек" – 203 км^2, с мощностями льда от 20-40 м до 300 м. 6. Таласский 202 ледника. Их площадь 121 км^2. Крупный ледник Вокруг света, имеет длину 3,6 км, площадь 6,8 км^2.7. Кюнгей Ала-Тоо имеет 159 ледников площадью 140, 3 км^2.

От 30 до 35 % питания горных рек Кыргызстана осуществляется за счет ледников. По прогнозам через 20 лет площадь ледников Кыргызстана может сократится на 35%. Площадь ледников Киргизии на 2000 г. относительно данных 60-х гг. XX в. сократилась на 14,9% . Вследствие изменения климата и повышения температуры средне многолетний суммарный сток рек Киргизии увеличился с 48,9 км^3 за период до 1973 г. до 51,9 км^3 за 1973–2000 гг [67-70].

2. Георискы от селевых и паводковых процессов. Сопоставление объемов конусов выноса рек, характеризующих селевую активность бассейнов, с объемами селехранилищ, созданных для защиты населенных пунктов показывают о несоответствии степени защищенности населенных пунктов реальным угрозам, создаваемым селями из высокогорной зоны в условиях климата 21 века [67-70].

При непринятии своевременных мер, на порядки возрастет селевая активность низкогорной зоны междуречий, что приведет к трансформации холмисто-увалистого, покрытого в настоящее время травянисто-кустарниковой растительностью в бедленды.

Увеличение температуры воздуха на 2–3°С уже в первой половине 21 века может привести к увеличению селевой активности на Тянь-Шане на порядки, что исследует учитывать при планировании дальнейшего развития хозяйственных механизмов на территориях, подверженных прямому и косвенному воздействию катастрофических селей.

Территория Кыргызского Тянь-Шаня является селеопасной, здесь насчитывается более 3100 селевых рек, их число распределены соответственно по бассейнам рек: р. Нарын – 789, Кара-Дарья – 666, р. Чу – 479, озеро Иссык-Куль – 375, р. Талас – 254.

На рис.2 представлена «Карта типизации генезиса областей формирования и селевой активности на территории Кыргызстана» где выделены: области формирования селей: синим цветом-гляциальные, светло-желтым – смешанные (снегодождевые), розовым - ливневые, темно желтым – области рассеяния и аккумуляции селей, светло-зеленым -области, подвергаемые селевой деятельности.

Штриховками показаны частоты прохождения селей соответственно: 1 и более раз в год (горизонтальная), 1 раз в год (перекрещивающиеся линии), 1 раз в 2 года и более (вертикальные), 1 раз в 3-5 лет (косые) и 1 раз в 6-10 лет (кирпичная) штриховками.

Кыргызстан ежегодно в весенний и осенний сезон подвержен разрушительным воздействиям паводковых процессов, половодий, что вызывает активизацию селей и различного генезиса, в зависимости типов их питания [67-70

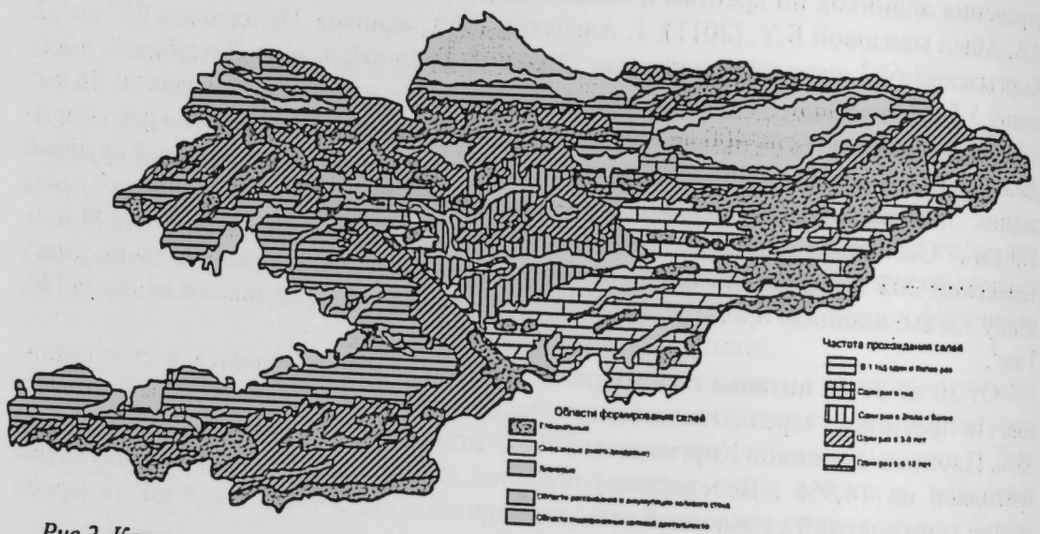


Рис.2. Карта типизации георисков от селей и паводков на территории Кыргызстана

Сели современные и палеоселевые процессы связаны тесно с накоплением снеговых запасов в высокогорной зон в зимний период времени, повышением температуры приводящей к весенним снеготаяниям и выпадению ливневых дождей в весеннее и летнее время и прорывам высокогорных озер. Повышенный сток, 121-171% нормы, характерен для рек Жыргалан, Чон-Ак-Суу, Аламедин, Ала-Арча, Сокулук, Узун-Акмат, Чычкан, Куршаб, Араван-Сай, Шахимардан и Кызыл-Суу. Пониженный сток, 40-76% нормы, наблюдался на реках Яссы, Донгуз-Тоо и Ак-Буура [67, 68].

Георискы от селей и паводков вызывают чрезвычайные ситуации соответственно по областям: в Джалал-Абадской (35%), Ошской (24%), Баткенской (23%), а Таласской, Чуйской, Иссык-Кульской областях от 6% до 4% [67-69].

Для заблаговременного предупреждения об опасности развития селей следует осуществлять мониторинг расхода воды в выбранном створе русла реки, расположенном выше по течению относительно защищаемого объекта.

3. Георискы от подземных вод и подтоплений. Подтопление территорий вследствие высокого стояния уровня грунтовых вод является одним из самых распространенных опасных процессов на территории Кыргызстана.

Процессам подтопления в наибольшей степени подвержена территория **Чуйской области**, где эти процессы развиты на площади около 1700 км^2 вдоль естественной полосы выклинивания. В зоне подтопления находятся 92 населенных пунктов, в том числе города Бишкек, Кант, Токмок, Кара-Балта [67-70].

В **Иссык-Кульской** области подтопление развито на площади около 600 км^2 вдоль прибрежной полосы озера Иссык-Куль и Конуролёнской, Барбулакской межгорных впадинах, в долинах крупных рек. В зоне подтопления находятся 29 населенных пунктов, в том числе город Балыкчы.

В **Таласской** области подтоплено более 200 км^2. Участки подтопления приурочены к долинам реки Талас и её притоков Беш-Таш, Урмарал, Кара-Буура. Подтопление отмечалось в 35 населенных пунктах и участках, в том числе в городе Талас.

В **Нарынской** области подтоплено около 450 км^2. Участки подтопления формируются по межгорным впадинам Кочкорской, Алабугинской, Атбашинской, Сонкёльской. Подтопление отмечалось в 51 населенных пунктах и участках, в том числе в районных центрах Ат-Башы, Кочкорка, Баетово, Чаек.

В **Джалал-Абадской** области процессы подтопления развиты в Кугартской долине, Алабука-Караванской впадине на площади до 50 км^2. Подтопление отмечалось в 47 населенных пунктах и участках, в том числе в селе Сузак.

В **Ошской** области участки подтопления формируются в межгорных впадинах Ош-Карасуйской, Араванской, Наукатской, Тахтекской, Караван-Кокджарской на общей площади около 150 км^2. Подтопления отмечалось в 78 населенных пунктах и участках, в городе Оше на 7-ми участках.

В **Баткенской** области подтопление развито в днищах межгорных впадин Баткенской и Исфара-Ляканской на площади до 50 км^2. Подтопление отмечалось в 18 населенных пунктах и участках, в том числе в городе Баткен.

Причинами подтопления являются природные факторы, обусловленные тектоническими, геолого-литологическими, геоморфологическими, гидрологическими, климатическими условиями и искусственными, связанными с деятельностью человека. Среди последних преобладает изменение хозяйственной деятельностью условий питания и разгрузки подземных вод за счет увеличения расходов поливной воды, утечек из ирригационных сооружений, создание водоупорных экранов при строительстве, выхода из строя оросительной и коллекторно-дренажных сетей, нерациональной планировки и застройки территорий, уменьшения отбора подземных вод и другие [67-70].

На подтопленных территориях в пределах населенных пунктов происходит деформация и разрушение жилых домов, зданий, сооружений, инженерных коммуникаций, ухудшаются санитарно-гигиенические условия, повышается сейсмическая опасность. На сельхозугодиях происходит деградация земель (заболачивание и засоление).

Одной из важных причин, вызывающих подтопление, является неудовлетворительное состояние существующих коллекторно-дренажных систем, состоящих на балансе различных министерств, ведомств, организаций, государственных администраций и органов местного самоуправления.

Георискы от прорывоопасных высокогорных озер. По данным Ерохина С.А и Загинаева В.В. в перечень прорывоопасных озер включено 314, из них 16 озер отнесено к первой категории, 34 – ко второй категории, 264 озера - к третьей категории опасности. Статистика категорий озер во времени и пространстве меняется. Наибольшие георискы представляют морено-ледникового типа горные озера -47%, ледниковые - 1%), моренные - 14 %), морено-ригельные - 26%, завальные -12%.

По степени прорывоопасности озер (Рис. 3):

- первой категории – наиболее опасные и находятся на стадии прорыва, требуют инженерных мероприятий для предупреждения прорыва;

- второй категории – опасные, т.е. приближаются к стадии прорыва, необходим мониторинг и предкпреждение.

- третьей категории – менее опасные, т.е. имеют предпосылки к прорыву и требуют обследования.

Критериями прорывоопасности озера являются:

1. Тип озера. Наиболее прорывоопасными являются морено-ледниковые озера. Из них наиболее опасными являются озера внутриморенных депрессий, затем озера термокарстовых воронок. Наименее прорывоопасны ригельные озера.

2. Характер наполнения – ежегодное увеличение объема озера повышает его прорывоопасность.

3. Характер стока – озера, имеющие поверхностный сток менее опасны, чем озера с подземным стоком.

4. Положение языка ледника - спадающий в озеро язык характеризует повышенную прорывоопасность.

5. Активность термокарстовых процессов (на поверхности морено-ледникового комплекса проявляются в виде просадочных воронок, западин, трещин отседания) - чем их проявления интенсивнее, тем выше прорывоопасность.

6. Условия питания озера – в частности площадь водосбора талых вод ледника.

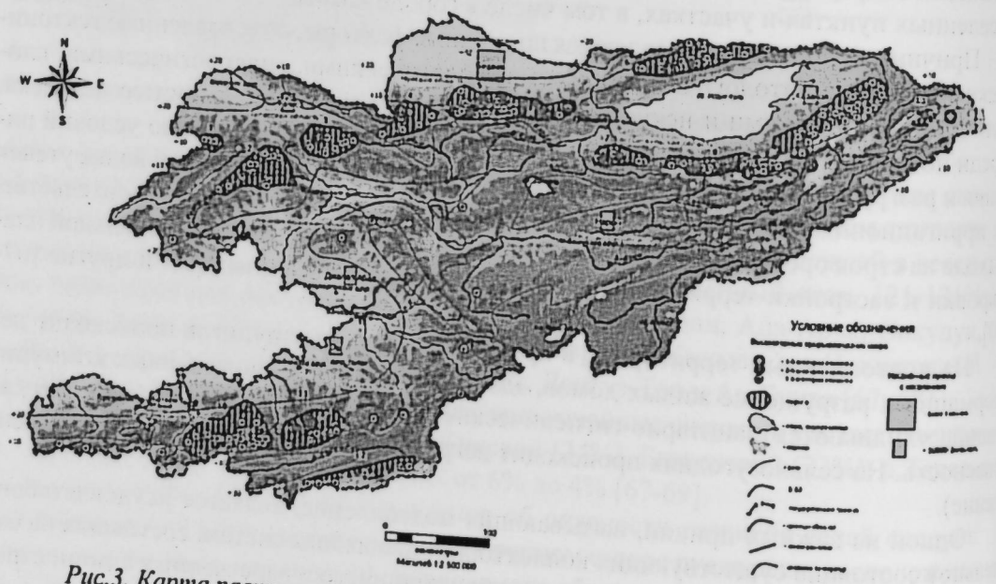


Рис.3. Карта распространения прорывоопасных горных озер в Кыргызстана

Резкое увеличение температуры (подъем нулевой изотермы) и последующее протаивание плотин, выпадение атмосферных осадков, землетрясения приводят к нарушению устойчивости плотин и росту их прорывоопасности.

Горные озера, обладающие более устойчивыми грунтовыми плотинами, в отличие от периодически оттаивающих в теплые и жаркие сезоны года моренно-ледниковых плотин, представляют риск прорыва при разрушении их сильными землетрясениями.

Основные рекомендации по устранению или уменьшению опасности прорывов высокогорных озер сводятся к следующему («Мониторинг прорывоопасности горных озер Кыргызстана», Ерохин С.А., 2012 г.):

а. проведение наземного обследования плотин прорывоопасных озер с целью определения механизма прорыва и расчета расхода прорывного потока;

б. обследование селевых очагов вдоль русла прорывного потока;

в. профилирование селеопасных горных долин с целью определения зон селевого и паводкового поражения;

г. проведение различного рода профилактических мероприятий против переполнения озера;

д. строительство селеотводящих дамб, селехранилищ и защитных плотин.

Для обеспечения прогноза селевых и паводковых процессов и прорыва высокогорных озер разработаны, изданы и внедрены в практической деятельности специалистов, для обучения населения правильному поведению и подготовки квалифицированных кадров в высших учебных заведениях и аспирантуре: "Порядок определения зон паводкового и селевого поражения при прорывах горных озер на территории Кыргызской Республики" (СПКР 22-102:2001, в качестве системы нормативных документов).

Гориски от колебаний уровня воды озера Иссык-Куль. Озеро расположено на северо-востоке Кыргызстана в депрессии между горными хребтами Кунгей Ала-Тоо и Терскей Ала-Тоо, с зеркалом воды чаши озера на высоте 1609 м над уровнем моря. Озеро Иссык-Куль входит в число 25 крупнейших по площади озёр мира и занимает 6-ое место в списке самых глубоких озёр. Иссык-Куль является бессточное озером, в него впадает 80 рек, и ни одна не вытекает [1-4].

Площадь оз. Исык-Куль составляет 6236 км^2, объем 1732 км^3, имеет длину 182 км с востока на запад и 58 км в ширину с юга на север. Площадь водосбора составляет 15,8 тыс. км^2. Наиболее крупные реки Джергалан и Тюп. Период водообмена озера более 300 лет. Сток из озера Иссы-Куль в р.Чу, протекающую по западной окраине котловины в нескольких км от озера происходил в многоводные эпохи последняя из которых имела место в 17–18 вв. при уровне озера на 10–12 м выше современного.

Озерные террассы высотой от 8 до 10 метров свидетельствуют о происходящих климатических изменениях. На глубине 8 метров под водой оз. Иссык-Куль имеются развалины поселений. За последние 200 лет уровень озера Иссык-Куль понижался с 1886 по разным источникам от 4 м. до 7 м. Неотектонические движения приводили к образованию высоких 35–40 м озерных террас.

Период водообмена озера Иссык-Куль составляет более 300 лет. В течение последних 200 лет уровень озера понижался, с годовой амплитудой колебаний уровня 10-50 см. Объём воды в озере Иссык-Куль оценивается 1738 км^3, при площадь зеркала воды — 6236 км^2, средней глубине 278 м, наибольшая глубина 668 м.

По данным Гидрогеологической экспедиции бывшего ранее Государственного Агентства при Правительстве КР, были проанализированы с 1926 в течении 78 лет данные по изменению среднегодового уровня до 2004 представляют постепенное понижение на 2,42 м, что составляет 0.031 м/год как среднегодовая скорость понижения, которая представлена на схеме. Уровень поверхности воды, нижняя отметка которой была на 1600,18 м в 1998. Ускоренное поднятие уровня воды наблюдалось с 1956-1960 и с 1999 до времени 2004. Предыдущее повышение было на 0,32 м за 5 лет,

что составляло 0.064 м/год как среднегодовая скорость повышения и последний составляет 0.80 м за 6 лет, что составляет 0.13 м/год как среднегодовая скорость. Уровень воды озера максимален в августе-сентябре и минимален в январе-марте, и разница между летом и зимой составляет примерно 0.2-0.3 м [67-70].

По Матыченкову В.Е. причина подъема уровня Иссык-Куля глобальное потепление, т.к. ледники на северном хребте Кунгей-Алатоо стаяли на четверть, а также по данным, полученным на наблюдательной станции в г. Чолпонате на северном берегу озера, за последние 45 лет температура в прибрежной зоне повысилась на 1,5 градусов. По Абдрахматову К.Е уровень воды в Иссык-Куле до 1911 года был на 14-15 метров выше, чем в настоящее время. По оценкам академика Маматканова Д.М. уровень воды высокогорного озера Иссык-Куль повысился на один метр, и данное повышение уровня воды в озере временное явление. Через 10-12 лет объем воды в чаше озера начнет снижаться [67-70].

Причиной повышения уровня воды в озере является потепление климата, вызывающее таяние ледников. Впадающие в Иссык-Куль реки остаются полноводными и несут свои воды наполняя чашу озера и повышая уровень воды. Начиная с 1999-го года, уровень воды в озере увеличился на 12 сантиметров в год.

Поднятие уровня воды в озере вызывает гидрологические и гидрогеологические риски, так как строящиеся и функционирующие пансионаты на побережье со временем окажутся непригодными для отдыха.

Экологический фонд имени Готтфрида Мерцбахера, занимающийся вопросами сохранения ледников, обосновывает что таяние ледников связано также добычей золота на месторождении Кумтор, где при взрывах выбрасывают в атмосферу большое количество пыли, которая оседает на поверхности ледников, приводит к затемнению поверхности ледников и усиливает поглощение солнечного света и ускоряет процесс таяния [1-4].

Уровень воды в озере меняется в зависимости от количества выпавших осадков, количества испарившейся воды и, неотектонических движений, изменяющих форму рельефа дна озера Иссык-Куль, от чего уровень воды повышается, и до 1 метра слой воды испаряется с поверхности озера каждый год [67-70].

Выводы

1. Геоэкориски от деградации ледников и гляциальных опасностей представленные выше указывают на ежегодный рост темпов таянья ледников и активизацию данного процесса в связи с изменение климата и повышением температуры.

2. Геориски от прорыва естественных грунтовых и ледовых плотин горных озер и селевых и паводковых процессов, связаны с условиями изменения климата, имеет тренд ежегодного роста с ожидаемыми их сезонными проявлениями по наиболее водным, а также селеопасным бассейнам стока рек Кыргызстана

3. Геориски от подземных вод и подтоплений территорий повышают потенциал опасности в связи с увеличением водности рек и смещением времени их проявлений.

4. Геориски от колебаний уровня воды озера Иссык-Куль, является индикатором изменения климата и представляет угрозу для прибрежных населенных пунктов и социально ориентированных курортных и туристических объектов.

5. В целом, экзогенные гидрогеологические процессы и явления требуют мониторинга, инструментального исследования, проведения полевых работ и использования возможностей дистанционного зондирования и их космических снимков.

Заключение

Прогноз селевой и паводковой опасности служит основой для принятия превентивных мер, включающих строительство защитных инженерных сооружений, рациональную застройку и планировку населенных пунктов, лесомелиоративные мероприятия, очистку русел рек, систем водоотведения и ирригации, организацию служб наблюдения и оповещения.

Существующие методики прогноза селей не совершенны. Достаточно надежно можно определить возможности прохождения селевых потоков по той или иной горной долине, а также возможные их размеры. Практически не имеется методов прогноза селей во времени, хотя они имеют важное значение при перспективном планировании хозяйственного развития горных и предгорных долин и заблаговременного обеспечения безопасности населенных пунктов и хозяйственных объектов от угрозы селевых потоков.

В данном подходе процессы, селеобразования, движения селевых и паводковых потоков рассматриваются в их тесной взаимосвязи как отдельные фрагменты единого сложного многофакторного природного явления.

Развитие селевых процессов зависит от двух групп факторов: 1)геологические факторы; 2)гидрологические факторы. Каждая группа факторов играет свою роль в формировании селевых потоков и от их совокупного действия зависит активность селевого процесса в каждой горной и предгорной долине.

Крупная долина разветвляется на ряд боковых долин, каждую из которых можно рассматривать как отдельный участок формирования и проявления селевых потоков, как отдельный селесбор (по аналогии с водосборами и снегосборами).

По своей предрасположенности к селефомированию, активности селевых процессов селесборы разделяются на 6 типов.

Каждый селевой поток оставляет следы, которые проявляются в различных признаках строения формируемой им долины. В этих селевых признаках отражается действие всех вышеперечисленных геологических и гидрологических факторов селеформирования. По типам селесборов, составляющих эти долины, и селевым признакам все горные и предгорные долины разделяются на 4 категории: А, Б, В, Г.

Разделение горных долин на категории позволяет дифференцировать горные и предгорные территории по их предрасположенности к селеформированию, отразить эту дифференциацию на карте и использовать её для построения селевого прогноза, как критерии места проявления селевого процесса.

Для определения времени проявления селевого процесса, должны использоваться критерии, основанные на гидрологических факторах селеформирования. Это: а) опасное накопление зимних осадков; б) опасное количество ожидаемых осадков в весенне-летние месяцы; в) опасное вторжение воздушных масс; г) опасное накопление суточных атмосферных осадков; д) опасное повышение температуры воздуха.

Расчет зоны действия селей и паводков в горных долинах проводится по методике, изложенной в нормативном документе СП КР 22-102:2001 «Порядок определения зон паводкового и селевого поражения при прорывах горных озер на территории Кыргызской Республики».

В целом, экзогенные гидрогеологические процессы и явления требуют комплексного мониторинга, инструментального исследования, проведения полевых работ и использования возможностей дистанционного зондирования и их космических снимков.

Список использованных источников

1. Ерохин С.А. Гляциальные озера как гидроэкологические объекты и факторы их прорывоопасности. Сб. Вода и устойчивое развитие Центральной Азии. Фонд "Сорос-Кыргызстан", 2001. – С. 93-98.
2. Ерохин С.А. Инженерно-геологическое изучение плотин (моренно-ледниковых комплексов) высокогорных селеопасных озер, селевых очагов и селеопасных горных долин Киргизии. Отчет по работам 1992-2000 г.г. Фонды Госгеолагентства КР. – Бишкек, 2000. -154 с.
3. Ерохин С.А. Отчет по инженерно-геологическому обследованию наиболее прорывоопасных озер северных областей Киргизской Республики. Фонды Госгеолагентства КР. – Б., 1996-49 с.
4. Ерохин С.А. Отчет по изучению прорывоопасных горных озер, угрожающих городу Бишкек (в 2003 г). Фонды Госгеолагентства КР. – Б., 2003-62 с.
5. Баймолдоев Т., Виноходов В. «Казселезащита» - оперативные меры до и после стихии. – Алматы.: Изд-во «Бастау», 2007.-284с.
6. Висхаджиева К.С., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Тутубалина О.В., Соколов Л.С., Ерохин С.А., Загинаев В.В., Петраков Д.А., Шпунтова А.М., Докукин М.Д., Петров М.А., Руис-вильянуэва В., Штоффел М. Селевые процессы на алайском и киргизском хребтах (на примерах бассейнов рек Шахимардан и Аксай). В сборнике: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Материалы IV Международной конференции. 2016. С. 56-59.
7. Ерохин С.А. Отчет о результатах работ по инженерно-геологическому изучению плотин высокогорных селеопасных озер Киргизии в 1998-1992 г.г. Фонды Госгеолагентства КР. – Б., 1992. - 289 с.
8. Ерохин С.А. Риск прорыва озера Петрова. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Издание девятое с изменениями и дополнениями. – Б., Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики, 2012. - С.622-627.
9. Керемкулов В.А., Цукерман И.Г. Модель опорожнения мореного озера через грот. Гидрометеоиздат. М., 1985, с. 59-70
10. Инструкции по определению расчетных характеристик дождевых селей ВСМ 03-76/ Под редакцией А.И. Чеботарева, И.И. Херхеулидзе и Б.И. Серник. Л.: Гидрометеоиздат. 1976. 27 с.
11. Справочник по гидравлическим расчетам. Под ред. П.Г. Киселева. 1972. - С. 300
12. Виноградов Ю. Б. Гляциальные селевые паводки и селевые потоки. – Л.Гидрометеоиздат. 1977.-155с.
13. Виноградов Ю.Б. Этюды о селевых потоках. Гидрометеоиздат. 1980.-144с.
14. Степанов Б.С. Транспортно-сдвиговый и сдвигово-эрозионный селевой процессы. Селевые потоки. Сб. 9. - М., Гидрометеоиздат, 1985. - С. 3-16.
15. Ерохин С.А., Диких А.Н. Оценка опасности действия селевых и паводковых потоков на территории Ала-Арчинского национального парка. - Б., Известия НАН КР, вып. 4. 2003г.- С.130-139.
16. *Загинаев В.В., Ерохин С.А., Кубанычбек У.Н.* Селевая активность на конусе выноса Fк-сай (северный склон Кыргызского хребта). Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2018. № 3. С. 24-28.
17. *Zaginaev V., Erokhin S., Matov E., Ballesteros-Cánovas J.A., Stoffel M., Petrakov D.* Reconstruction of glacial lake outburst floods in northern Tien Shan: implications for hazard assessment. Geomorphology. 2016. Т. 269. С. 75-84.
18. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы/Под ред. Акад. Сергеева Е.М. — М.: Недра, *1985*, 332 с.
19. Карпов В.Г. Циценко К.В. Отчет по рекогносцировочному обследованию высокогорных озер Киргизии. Фонды Госгеолагентства КР.- Фрунзе, 1966. 198с.

20. Каталог ледников СССР. Т.14. Средняя Азия. Вып.2. Киргизия. ч.2. Бассейны левых притоков реки Чу ниже устья Коморчек. - Л., Гидрометеоиздат, 1973. – 70 с.
21. Кеммерих А.О. Роль ледников в стоке рек Средней Азии. //Материалы гляциологических исследований. Вып.20. - М.: АНСССР. 1972. - С.82-94.
22. Эргешев А.А., Цигельная И.Д., Музакеев М.А. Водный баланс Кыргызстана. //АНРК. Бишкек: Илим. 1992. - 152 с.
23. Диких А.Н. Ледниковый сток Тянь-Шаня и его роль в формировании общего стока. //Материалы гляциологических исследований. М.: Институт географии РАН. Вып.77. 1993. - С.41-49.
24. Д.М.Маматканов, Л.В.Бажанова, В.В.Романовский // Под ред. Т.В.Тузовой.- Водные ресурсы Кыргызстана на современном этапе.- Бишкек, Илим , 2006, 265 с.
25. Влияние изменений климата на горную экосистему Тянь-Шаня (на примере Иссык-Кульского и Чуйского бассейнов) [Текст] / – Бишкек: Ас-Нур, 2014.– 558 с.
26. Калашникова О.Ю., Мухаммед Эсенаман уулу, Усубалиев Р.А. Влияние климатических изменений на сток и оледенение бассейна реки Ала-Арча за период 1915-2018 гг. // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, № 4, 2019, с. 36-41.
27. Mamatkanov D., Tuzova T. Evaluation of Water Balance Components and Ecological Condition of poorly studied Transboundary River Basins by Isotope Methods - AASSA Regional Workshop "Sustainable development of Asian countries, water resources and biodiversity under climate change", August 19-22 2013, Barnaul, Russia, c.146-158.
28. Uralbekov B., Burkitbaev M., Satybaldiev B.,Matveyeva I.,Tuzova T., Snow D. Spatial and temporal variability of $^{234}U/^{238}U$ activity ratios in the Shu River, Central Asia.// Environmental Earth Sciences, No 4, April 2014, pp. 3635-3642.
29. Матвеева И.В., Назаркулова Ш.Н., Тузова Т.В. и др. Изотопы урана в водах хвостохранилищ рудника Каджи-Сай. Вестник КазНУ, серия химическая, 2015, №4(80), с.61-67. http://bulletin.chemistry.kz/dx/doi.org/10/15328/cb600.
30. Буркитбаев М.М., Уралбеков Б.М., Тузова Т.В. Неравновесный уран как естественный индикатор процессов в водно-экологических системах Центральной Азии // Алматы, Казак университети, 2017, 160 стр. (Монография, ISBN 978-601-04-2923-9).
31. Matveyeva I.V., Tuzova T.V. Methodical Features of Pretreatment of Water Samples of Mountain Rivers with Ultralow Concentration of Uranium for Alfa-Spectrometric Measuremets // Vestnik of Tajik National University. – 2017. - № 1/2. - P. 151-158.
32. Tuzova T.V. Estimation of Distribution of the Flow of Transboundary Mountain Rivers by Uranium-Isotopic Method // Water and environmental problems of Siberia and Central Asia. – 2017. - № 4. –P. 126-134.
33. Tuzova T., Matveyeva I., Uralbekov B. Uranium isotopes in waters as radio ecological indicator of genesis of waters and relative distribution of water resources of mountain rivers in Central Asia. 4-th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity, Berlin, Germany. -2017.- P. 237-238.
34. Matveyeva I., Tuzova T. и др. In-situ pre-concentrating of uranium isotopes on coal for alpha-spectrometric measurements (with approbation on water samples of mountain rivers), 4-th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity, Berlin, Germany. - 2017.- P. 276-277.
35. Тузова Т.В., Шатравин В.И. и др. Неравновесный уран в водах и льдах Памиро-Алая // Наука и инновация (научный журнал), серия геологических и технических наук. - 2018, №3: Таджикский национальный университет, с.160-170.
36. Тузова Т.В., Сатылканов, Р.А. и др. Изотопы урана во льдах и водах верховьев реки Нарын // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, № 3, 2018, с. 125-130.
37. Тузова Т.В., Загинаев В.В. и др. Уран в водах зон формирования стока трансграничных рек Тянь-Шаня и Памира. Там же, с. 178-185.

38. Саидов М.С., Тузова Т.В., Саидов С.М. Изменение климата как фактор ущербов за счет избыточной воды во время паводков (На примере трансграничной р. Пяндж). Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, 2019, №4, с. 56-60.

39. Тузова Т.В., Ваткинс Д. Генетический состав поверхностных и подземных вод бассейна р.Чон-Кызылсуу в условиях изменяющегося климата. Там же с.81-84.

40. Тузова Т.В., Ерохин С.А., Загинаев В.В. Неравновесный уран как естественный радиоактивный индикатор генезиса поверхностных и подземных вод Центральной Азии. Там же с.85-91.

41. Тузова Т.В., Адылова М.А., Зорий П. Радиоэкологические и инженерно-геологические особенности формирования стока бассейнов рек Нарын-Карадарья-Сырдарья //Инновационные технологии в решении актуальных задач сейсмологии, гидрогеологии и инженерной геологии. // Материалы международной конференрции, повященной 119-летию акад. Г.А.Мавлянова, Ташкент: АН РУз. 2020. – С.316-321.

42. Uranium-series disequilibrium, application to earth, marine and environmenral sciences // Editerby Ivanovich M. and Harmon R.S.- Oxford: Clarendon Press. – 1992. – 910 p.

43. P. Zoriy, M.Schläger, T.Tuzova, M. Zoriy, J. Pillaht, B. Heuel-Fabianek. Assement of uranium concentration in water samples collected in selected regions of the Kyrgyz Republic // 8-я Международная конференция «Семипалатинский испытательный полигон: наследие и перспективы развития научно-технического потенциала».- Курчатов, РК, 2018, С. 327-328.

44. 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.

45. Сатылканов, Р.А. Ледовые ресурсы Тянь-Шаня в забронированных ледниках. [Текст] / Шатравин В.И., Маматканов Д.М., Сатылканов Р.А. и др. // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, № 3, 2018, с. 113-119.

46. 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. // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, № 4, 2019, С. 75 – 80.

47. Бажанова Л.В., Сатылканов Р.А., Эрменбаев Б.О. Динамика оледенения в условиях современного изменения климата на примере ледника Кара-Баткак, хребет Тескей Ала-Тоо. //Вестник КРСУ. 2017. Том 17. - №5. - С. 189-194.

48. Бажанова Л.В. Влияние изменений климата на гидрологический режим рек высокогорной зоны (на примере р.Кашка-Тор в бассейне озера Иссык-Куль). // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. Том №3, 2018. Бишкек. С. -186-191.

49. Загинаев В.В., Ерохин С.А., Кубанычбек уулу Нурсултан, Чонтоев Д.Т. Мониторинг высокогорных озер северного склона Киргизского хребта с целью определения прорывоопасного периода.// Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, № 3, 2018,, с.139-142.

50. Zaginaev, V., Falatkova, K., Jansky, B., Sobr, M., &Erokhin, S. Development of a Potentially Hazardous Pro-Glacia lLake in Aksay Valley, Kyrgyz Range, Northern Tien-Shan. *Hydrology, 6* (1), 2019. - C. 3-7.

51. Bolch, T. Glacier area and mass changes since 1964 in the Ala-Archa Valley, Kyrgyz Ala-Too, northern Tien Shan. Ice and Snow, 0129(1), . 215, 28-39.

52. Ерохин, Чонтоев, Загинаев Монография, 2020

53. Гольданский В.И., Куценко А.В., Подгорецкий М.И. Статистика отсчетов при регистрации ядерных частиц, Физматгиз, М. 1959, 412 с.

54. Чалов П.И., ТузоваТ.В., Алехина В.М. Изотопные параметры вод разломов земной коры в сейсмически активной зоне.- Фрунзе, Илим, 1980, 105 с.

55. Атлас Киргизской ССР. – М.: Изд-во ГУГК, 1987. – Т. I. – 157 с.

56. Тузова Т.В. Диссертация

57. Геологическое строение Тянь-Шаня *Бискэ* Ю.С. Складчатые области Северной Евразии. Тянь-Шанская складчатая система. СПб., 2006, 213 с.

58. https://science.ucoz.net/publ/58-1-0-112dip.su/рефераты/369629

59. Качество воды в бассейнах рек Амударья и Сырдарья. Гаппаров Б.Х. Беглов И.Ф. Назарий А.М. Усманова О.К. / Аналитический отчет. (материал подготовлен и опубликован при поддержке ЕЭК ООН, РЭЦ ЦА). Ташкент, 2011 г (kniga.seluk.ru/k-ekonomika/).

60. Гидрогеология СССР.ТомXXXIX. Узбекская ССР. /Под ред. Г.А.Мавлянова. *М.: Недра, 1971, 742 с.*

61. Alekhina V.V., Vasiliev I.A. Uranium Isotopic Composition and Physical and Chemical Natural Water Parameters in Arial Toktogul Water Reservoir //Study of Formation Factors Estimation of the Nizny-Naryn Hepp Cascade Effect on the Quality of the Narin River Catchments Using Isotopic Methods.- Part 2.- Bishkek: ISTC, pp.85-100, 2010.

62. Mamatkanov D., Tuzova T. Uranium Isotopics in Waters of the Toktogul Basin // Там же, pp. 101-107.

63. P.Zoriy, M. Scheage, and other. Monitoring of uranium concentrations in water samples collected near potentially hazardous objects in North-West Tajikistan. Journal of Environmental Radioactivity, 2018, v.181, pp.109-117.

64. Abdushukurov, D.A., Kobuliev, Z.V., Mamadaliev, B.N. Elemental Composition of Bottom Sediments and Adjacent Soils on the Syr Daya within Tajikistan. Наука и новые технологии, 2014, №6, pp.29-33.

65. Frisbie, S.H., Mitchell, E.J., Sarkar, B. World Health Organization Increases Its Drinking-Water Guideline for Uranium. Environmental Science Processes and Impacts, 2013, v. 15, pp.1817-1823.

66. IAEA, 2012. Assessment and Proposals for Uranium Production Legacy Sites in Central Asia: An International Approach. Available at:
https://gnssn.iaea.org/RTWS/general/Shared%20Documents/Remediation/Remediation%20Evaluation%202012/AssessmentandProposalsforUraniumProductionLegacySitesinCentralAsia.pdf

67. Усупаев Ш.Э. ИГН карта и геоном-модели типизации и прогноза георисков водного генезиса горных странах (на примере Кыргызского Тянь-Шаня). Международная научно-практическая конференция «Селевая безопасность: оценка, прогноз, защита» г. Алматы (Казахстан) 22-25 августа 2017 г. С. 25-30.

68. Молдобеков Б.Д., Усупаев Ш.Э., Ерохин С.А., Сарногоев А.К., Абдрахманова Г.А. Проблемы селевой безопасности в Кыргызстане и Центральной Азии. Международная научно-практическая конференция «Селевая безопасность: оценка, прогноз, защита» г. Алматы (Казахстан) 22-25 августа 2017 г. С.133 -140.

69. Дайыров М. А., Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Нарама Ч. Космический и наземный мониторинг георисков от прорывоопасных гляциальных озер Кыргызского Тянь-Шаня. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (Изд. 16-е с изм. и доп.). Б.: МЧС КР. 2019 – С.765 – 779.

70. Усупаев Ш.Э., Ерохин С.А., Усубалиев Р.А., Дайыров М., Ажыбаев Т.А. Карта катастрофоведения типизации георисков от деградирующих ледников и прорывоопасных высокогорных озер и мерзлотных опасных процессов и явлений. В книге: Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (Изд. 20-е с изм. и доп.). Б.: МЧС КР, 2020 -С. 735 - 737.

ГЛАВА 3. МОНИТОРИНГ И ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Р. Г. Литвак; Е. И. Немальцева; О.Давлеталиева

Важными компонентами рационального использования и охраны подземных вод являются проблемы мониторинга и определения степени естественной уязвимости подземных вод. В приведенных результатах научных исследований рассмотрены вопросы оптимизации схем мониторинга одной из зон Чуйской долины, а также проведена научно обоснованная оценка влияния гидрогеологических факторов на уязвимость водоносных горизонтов.

1. Обоснование схемы режимных наблюдений за уровнями подземных вод провальной зоны р. Чу на основе математических моделей нестационарной фильтрации

Данные исследования, выполнены в рамках Проекта «Научное обоснование и разработка схемы мониторинга подземных вод Чуйской долины на основе фильтрационного моделирования» [1]. Во многих работах подчеркивается, что современный подход к обоснованию схем мониторинга базируется на применении математических моделей [2-4]. Здесь предлагается методический прием обоснования схемы режимных наблюдений за уровнями подземных вод с использованием одномерных нестационарных фильтрационных моделей на примере провальной зоны р. Чу.

В работе В. М. Шестакова [2] подчеркивается важность «формулировок конкретной цели любого мониторинга и бесполезность многоцелевых «общих» наблюдений». Главный режимообразующий фактор подземных вод равнинной зоны восточной части Чуйской долины – русловые потери из реки Чу в «провальной» зоне между Бурулдайским мостом и г. Токмак, рис. 1.1-1.2. Исходя из этого, изменение питания подземных вод должно фиксироваться режимными скважинами. Основные цели данного раздела: 1) исследование возможностей существующих режимных скважин для оценки изменений уровня подземных вод при изменении фильтрационных потерь из р. Чу в провальной зоне; 2) обоснование необходимости дополнительных режимных скважин для вышеприведенной «оценки». Исследования проведены с использованием 2-х фильтрационных моделей.

Модель 1 (модель подруслового потока подземный вод вдоль р Чу).

Математическая постановка рассматриваемой задачи имеет вид:

$$\cdot\left(\frac{d}{dt}S(x,t)\right) = T\cdot\frac{d^2}{dx^2}S(x,t) - \Delta W \qquad (1.1)$$

где

T- водопроводимость пласта, м^2/сут;

S(x,t) - изменение уровней подземных вод под действием измененных потерь из р. Чу, м;

t - период времени от момента изменения фильтрационных потерь, сут;

ΔW - изменение питания подземных вод за счет изменения фильтрационных потерь, м/сут;

Граничные условия имеют вид: при **x = 0**

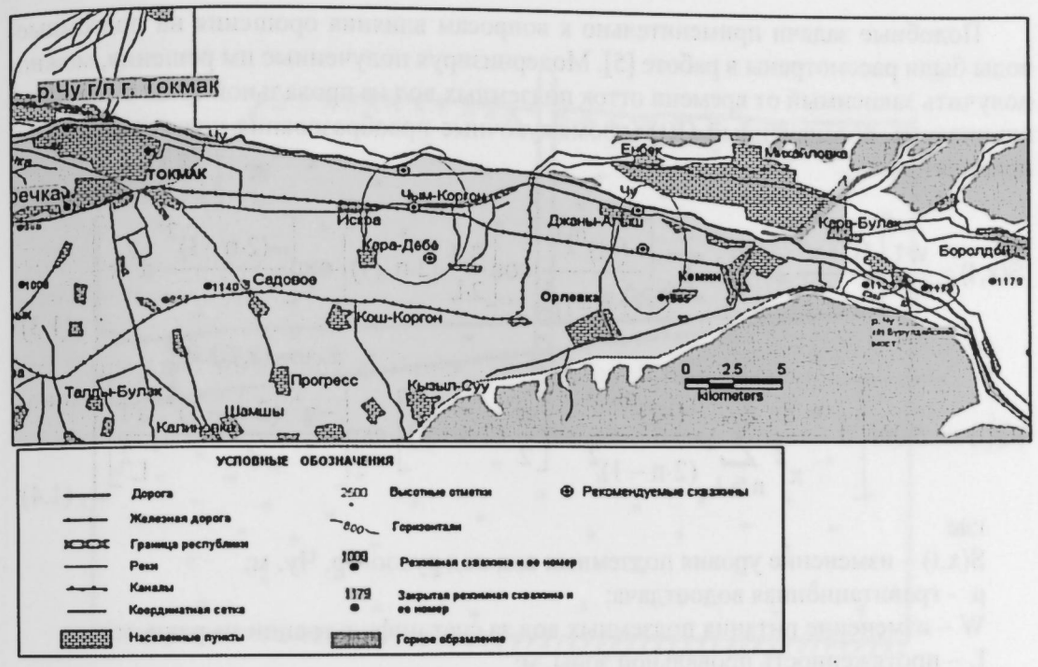


Рис. 1.1. Схематическая карта «провальной зоны» р. Чу

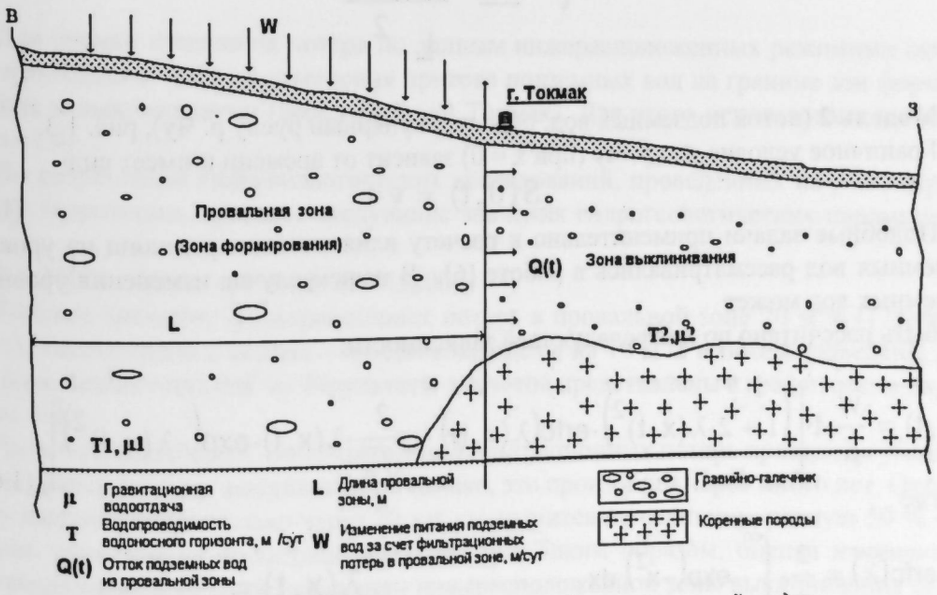


Рис. 1.2 . Фильтрационная схема к 1-ой фильтрационной модели

$$\frac{d}{dx}S(x,t) = 0 \qquad (1.2)$$

при **x = L** S(L,t) = 0,

где **L** – протяженность провальной зоны, м.

Подобные задачи применительно к вопросам влияния орошения на подземные воды были рассмотрены в работе [5]. Модернизируя полученные им решения, можно получить зависимый от времени отток подземных вод из провальной зоны в зону выклинивания, обозначенный **Q(t)** (промежуточные преобразования для краткости не приводятся).

$$S(x,t)=\frac{w\cdot t}{\mu}\cdot\left[\frac{B^2-x^2}{2\cdot L^2\cdot\tau}-\frac{16}{\pi^3\cdot\tau}\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\left[\frac{(-1)^{n+1}}{(2\cdot n-1)^3}\cdot\cos\left[\frac{\pi\cdot x}{2\cdot L}\cdot(2\cdot n-1)\right]\cdot\exp\left[\frac{-(2\cdot n-1)^2}{4}\cdot\pi^2\cdot\tau\right]\right]\right], \quad (1.3)$$

$$\Delta Q(t):=\Delta QN\cdot\left[1-\frac{8}{\pi^2}\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(-1)^{n+1}}{(2\cdot n-1)^2}\cdot\sin\left[\frac{\pi}{2}\cdot(2\cdot n-1)\right]\cdot\exp\left[\frac{-\pi^2\cdot(2\cdot n-1)^2}{4}\cdot\frac{a\cdot t}{L^2}\right]\right], \quad (1.4)$$

где

S(x,t) – изменение уровня подземных вод под руслом р. Чу, м;

μ - гравитационная водоотдача;

W – изменение питания подземных вод за счет инфильтрации из реки, м/сут;

L – протяженность провальной зоны, м;

$$\tau = \frac{a\cdot t}{L^2}.$$

Модель 2 (поток подземных вод, перпендикулярный руслу р. Чу), рис. 1.3.

Граничное условие под р. Чу (при x = 0) зависит от времени и имеет вид:

$$S(0,t)=v\cdot t \quad (1.5)$$

Подобные задачи применительно к расчету влияния водохранилищ на уровни подземных вод рассматривались в работе [6]. В нашем случае изменения уровней подземных вод может

быть рассчитано по нижеследующей зависимости:

$$S(x,t)=\frac{w}{\mu}\cdot t\cdot\left[\left(1+2\cdot\lambda(x,t)^2\right)\cdot\operatorname{erfc}(\lambda(x,t))-\frac{2}{\sqrt{\pi}}\cdot\lambda(x,t)\cdot\exp\left(-\lambda(x,t)^2\right)\right], \quad (1.6)$$

где

$$\operatorname{erfc}(\lambda)=\frac{2}{\pi}\cdot\int_{\lambda}^{\infty}\exp\left(-x^2\right)dx \qquad \lambda(x,t)=\frac{x}{2\cdot\sqrt{a\cdot t}}$$

Остальные обозначения прежние.

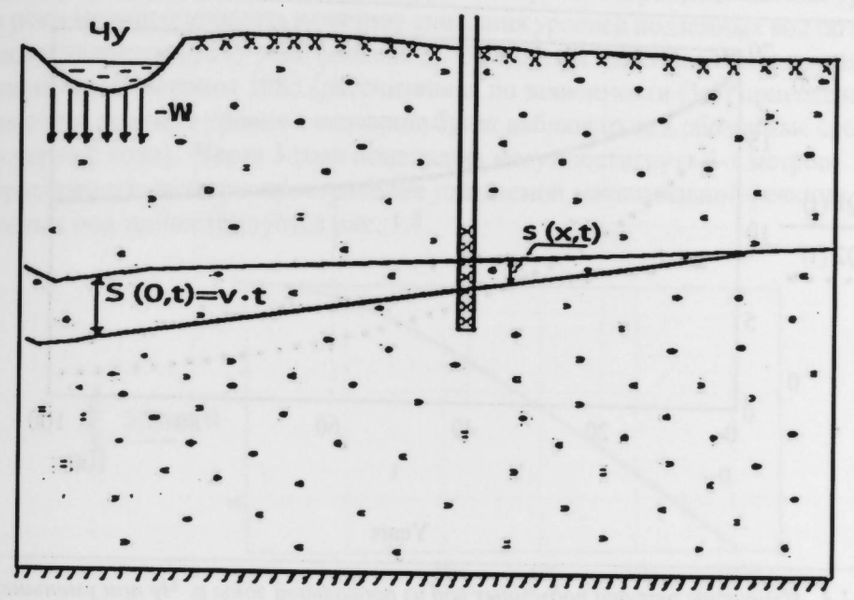


Рис. 1.3. Фильтрационная схема ко 2-ой фильтрационной модели

Для оценки изменения потерь по данным нижерасположенных режимных скважин необходимо оценить изменения притока подземных вод на границе зон формирования и выклинивания (перед городом Токмак). Для этого использована зависимость (1.4).

По результатам гидрогеологических исследований, проведенных на рассматриваемой территории, приняты следующие значения гидрогеологических параметров [7]:

T = 10000 м²/сут, μ = 0.18, L = 43200 м

Типовое значение фильтрационных потерь в провальной зоне 20 м³/с (1728000 м³/сут). Рассмотрено 2 случая – потери сокращены на 10 м³/с и потери доведены до нуля (сокращение на 20 м³/с). Результаты расчетов представлены в графическом виде на рис. 1.4.

Расчеты показывают, что сокращение фильтрационных потерь приведет к уменьшению притока в зону выклинивания, однако, это произойдет через много лет. Отток в зону выклинивания только через 20 лет уменьшится на величину, равную 50 % от объемов уменьшения фильтрационных потерь. Таким образом, оценка изменения фильтрационных потерь по скважинам нижерасположенной зоны выклинивания бесперспективна из-за длительного периода запаздывания.

Для оценки реакции уровней подземных вод в непосредственной близости от р. Чу использована зависимость (1.3). Расчеты проведены при уменьшении питания на 0.002 м/сут. Понижение уровней вдоль р. Чу на периоды 1, 3 и 5 лет представлены на рис. 1.5.

Построенные графики показывают, что на расстоянии 20 км и более от г. Токмак максимальные понижения уровней могут рассчитываться по простой зависимости:

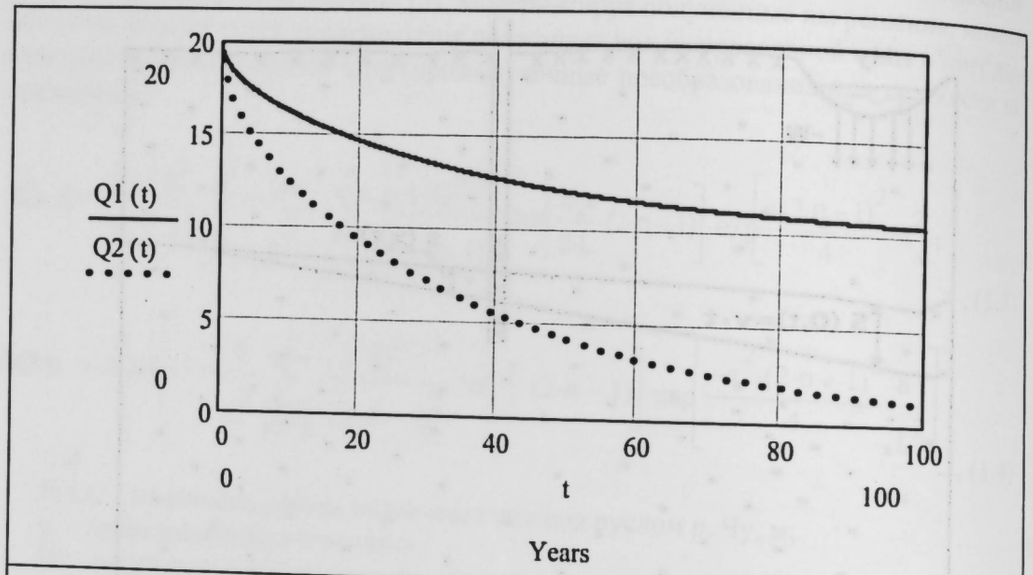


Рис. 1.4. Изменение оттока подземных вод из провальной зоны р. Чу при уменьшении фильтрационных потерь (Q1(t) – сокращение потерь на 10 м³/с; Q2(t) – сокращение потерь на 20 м³/с)

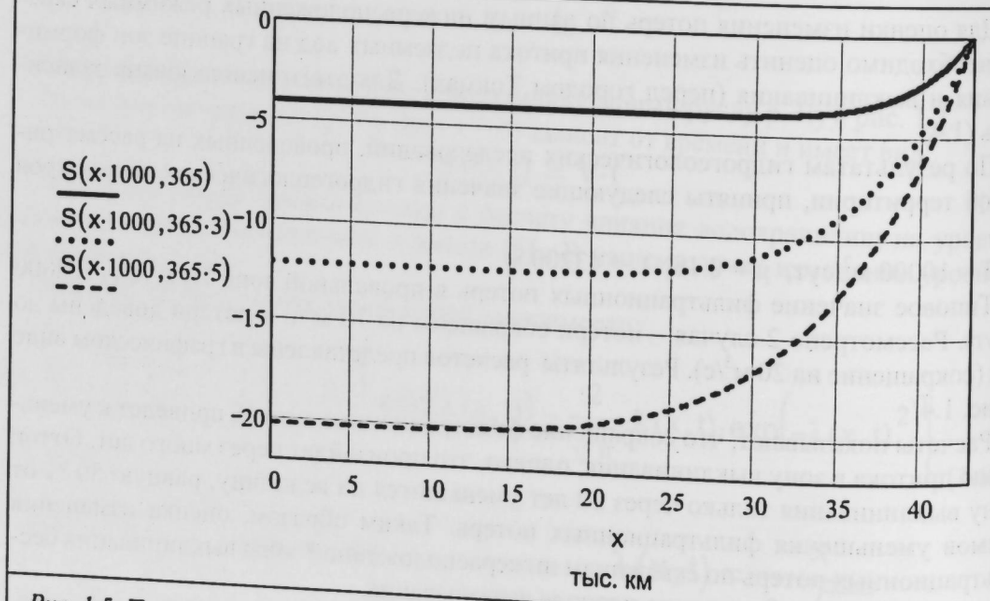


Рис. 1.5. Понижение уровней подземных вод вдоль р. Чу при резком уменьшении питания подземных вод, в районе г. Токмак понижение равно нулю

$$S(t) = \frac{w \cdot t}{\mu} \qquad (1.7)$$

Максимальная скорость снижения уровня w/μ. По скорости снижения уровня на линии реки можно оценивать величину снижения уровней подземных вод по створам, перпендикулярным руслу реки (модель 2). Ожидаемая максимальная реакция в точке расположения скважины 1085 (рассчитанная по зависимости (1.6) приведена на рис. 1.6. Заметная реакция уровня в скважине будет наблюдаться в обозримые сроки (примерно через 2 года). Через 3 года понижения могут достигнуть 4-х метров.

Пространственное распространение ожидаемой максимальной реакции уровней подземных вод иллюстрируется рис. 1.7.

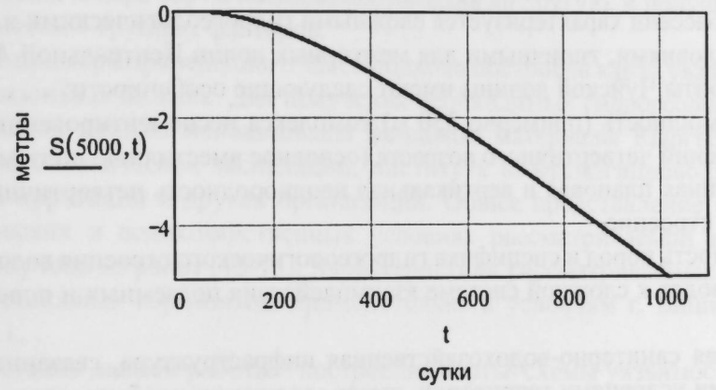


Рис.1.6. Ожидаемые максимальные понижения уровней подземных вод в зоне наблюдательной скважины 1085 при рассматриваемом уменьшении питания

Выводы

1. Учитывая распространение «зоны резкой деформации» от действия фильтрационных потерь из р. Чу, рекомендуется организовать функционирование 2-х створов наблюдательных скважин. Каждый створ состоит из 3-х скважин: первая – в непосредственной близости от р. Чу, вторая – в 2-х километрах южнее, третья – в 3-х километрах южнее второй. Третья скважина восточного створа функционирует в настоящее время, ее номер 1085 (скважина ККГГЭ).

2. Необходимо восстановить нормальный режим наблюдений по скважинам ККГГЭ № 1129 и 1178. Они расположены возле Бурулдайского моста, в 2000 г наблюдения прекращены, в 2012 году замеры восстановлены, но их достоверность вызывает сомнения. Данные по упомянутым скважинам позволяют оценить изменения подрусслового потока в начале провальной зоны.

3. Допустимая частота наблюдений - 1 раз в месяц. Характер наблюдаемых данных показывает бесполезность более частых наблюдений, которые существенно увеличивают их суммарную трудоемкость.

4. Для повышения достоверности результатов режимных наблюдений необходимо восстановить гидропост у Бурулдайского моста. Анализ режимных данных должен подтверждаться русловым балансом рассматриваемого участка р. Чу.

2. Оценка естественной уязвимости водоносных горизонтов слоистого строения на примере чуйской впадины Кыргызстана

В разделе предлагается новый метод учета гидрогеологических факторов для оценки уязвимости многослойных водоносных горизонтов, характерных для межгорных долин.

Под уязвимостью здесь понимается степень подверженности подземных вод различным видам загрязнения, источники которого находятся на поверхности земли. Приводятся два подхода к оценке упомянутой уязвимости. Первый «рейтинговый» подход базируется на стандартной методике «index – and – overlay» [8-10], основанной на четырех критериях. Во втором предлагаются методы, существенно повышающие объективность оценки уязвимости водоносных горизонтов слоистого строения [11]. Исследование проведено на примере Чуйской долины и г. Бишкек, представляющие собой важнейший регион Кыргызской Республики с населением более 1.5 миллиона человек. Общая площадь территории – примерно 7.4 тыс. км^2 [12].

Чуйский бассейн характеризуется сложными гидрогеологическими и водохозяйственными условиями, типичными для межгорных долин Центральной Азии. Водоносные горизонты Чуйской долины имеют следующие особенности:

Большая мощность (примерно 350 м) комплекса несцементированных аллювиальных отложений четвертичного возраста (основное вместилище подземных вод).

Существенная плановая и вертикальная неоднородность четвертичных отложений, слоистое строение.

Проводимость пород и специфика гидрогеологического строения водоносных горизонтов приводят к сложной системе взаимодействия подземных и поверхностных вод.

Бишкекская санитарно-водохозяйственная инфраструктура, связанная с гидрогеологическими условиями территории, имеет следующие особенности:

Потребности питьевого и хозяйственного водоснабжения полностью покрываются подземными водами.

Функционирует большое количество трубопроводов различного назначения (горячее и холодное водоснабжение, канализационные трубы, дренажные системы). Широко распространены уличные туалеты, ирригация приусадебных участков и других городских территорий.

Основной водозабор Орто-Алыш расположен в пригороде. Он сосредоточен на территории, где гидрогеологические условия позволяют эффективно эксплуатировать большое число скважин на ограниченной территории. Кроме того, на территории города эксплуатируется около 30 небольших водозаборов.

Фильтры городских водозаборов в основном расположены глубже 120 м, однако, в северной части города часто каптируется водоносный слой 40 – 120 м.

2.1. Оценка уязвимости водоносного горизонта на территории г. Бишкек с использованием подхода, основанного на 4-х критериях

Исходные данные, необходимые для картирования уязвимости подземных вод, отбирались исходя из значимости различных факторов для естественной защиты водоносного горизонта от загрязнения, принятой методики, оценки гидрогеологических особенностей зоны расположения г. Бишкек, а также исходя из наличия исходных данных и их достоверности. Ниже приведены ключевые критерии уязвимости водоносных горизонтов применительно к территории г. Бишкек [10].

Наличие и мощность слабопроницаемых покровных отложений, которые затрудняют инфильтрацию загрязняющих веществ в подстилающие водоносные горизонты;

Геология водоносного горизонта, в частности, способность к выносу загрязнителей из зоны загрязнения;

Глубина залегания уровня грунтовых вод (мощность ненасыщенной зоны). Мощная ненасыщенная зона увеличивает время, через которое загрязнители попадают в подземные воды, со временем часто уменьшается их концентрация.

Условия поверхностного питания грунтовых вод (поверхностные источники загрязнения в зоне рек и каналов существенно увеличивают риск загрязнения подземных вод за счет инфильтрации и повышенной проницаемости пород в зоне рек).

По каждому из этих признаков составляется карта с разбиением на зоны, где каждой зоне будет соответствовать своё количество баллов (выше уязвимость – больше баллов). Затем, все четыре карты накладываются одна на другую, и получается карта уязвимости по всем 4 группам факторов.

В качестве примера приведенного здесь подхода построена карта уязвимости водоносного горизонта г. Бишкек. Для получения необходимых гидрогеологических и водохозяйственных данных использованы фондовые материалы Кыргызской комплексной гидрогеологической экспедиции, института «Кыргызгипроводхоз», Кыргызского НИИ ирригации и других организаций. Общее представление о сложных гидрогеологических и водохозяйственных условиях рассматриваемой территории может быть получено из работ [13-16]. Характеристики рассматриваемых критериев уязвимости водоносных горизонтов, применительно к условиям г. Бишкек, приведены в табл. 2.1.

Конечная стадия данной работы - построение карты–схемы уязвимости подземных вод. Результат показан на рис. 2.1, где территория города и ее окрестности разделены на 4 зоны по степени уязвимости (слабая, средняя, высокая и экстремально высокая). Северная часть города (севернее проспекта жибек-жолу) соответствует зоне низкой уязвимости. Это объясняется, наличием мощных покровных отложений и геологическим строением, которое обеспечивает восходящие вертикальные токи. Указанные обстоятельства защищают водоносные горизонты от проникновения загрязняющих веществ.

Южнее упомянутой выше территории наблюдается зона в виде ленты, имеющая высокую уязвимость. Здесь практически отсутствуют покровные отложения, недостаточно глубокое залегание уровней грунтовых вод и господствуют нисходящие инфильтрационные.

Примерная ширина «ленты» 2 - 3 км. Далее, в южном направлении, глубина уровней грунтовых вод существенно увеличивается, и зона высокой уязвимости сменяется зоной средней уязвимости, которая покрывает южную часть города и заканчивается у неоген-четвертичных поднятий.

Следует особо отметить зону высокой уязвимости, окружающую Орто-Алышский водозабор подземных вод (один из основных водозаборов г. Бишкек), а также небольшие по площади зоны экстра высокой уязвимости в непосредственной близости от рек Ала-Арча и Аламедин,

Таблица 2.1. Оценка уязвимости водоносных горизонтов применительно к условиям г. Бишкек

Критерий уязвимости	Классификация зон	Характеристика уязвимости	Количественный показатель уязвимости
1.Мощность покровных отложений	Мощность 0 – 5 м	Высокая	3
	Мощность 5 – 10 м	Низкая	1
2.Геолого-гидрогеологические условия	Карабалтинский створ	Высокая	3
	Панфиловский створ	Средняя	2
	Ала-Арчинский створ	Низкая	1
3. Глубина уровней грунтовых вод	0 – 5 м	Очень высокая	4
	5 – 10 м	Высокая	3
	10 – 50 м	Средняя	2
	> 50 м	Низкая	1
4. Условия поверхностного питания грунтовых вод	Зона инфильтрации из рек	Средняя	2
	Зона формирования подземных вод (вне зоны инфильтрации из рек)	Низкая	1
	Зона выклинивания подземных вод	Пренебрежимо малая	0

Количественная классификация к карте уязвимости приведена в табл. 2.2.

Таблица 2.2 - Классификация к схематической карте уязвимости водоносных горизонтов

Сумма баллов по четырём Критериям	Классификация уязвимости верхней части системы водоносных горизонтов
0	Отсутствие водоносного горизонта
1- 6	Низкая
7 – 8	Средняя
9 – 11	Высокая
12	Экстремально высокая

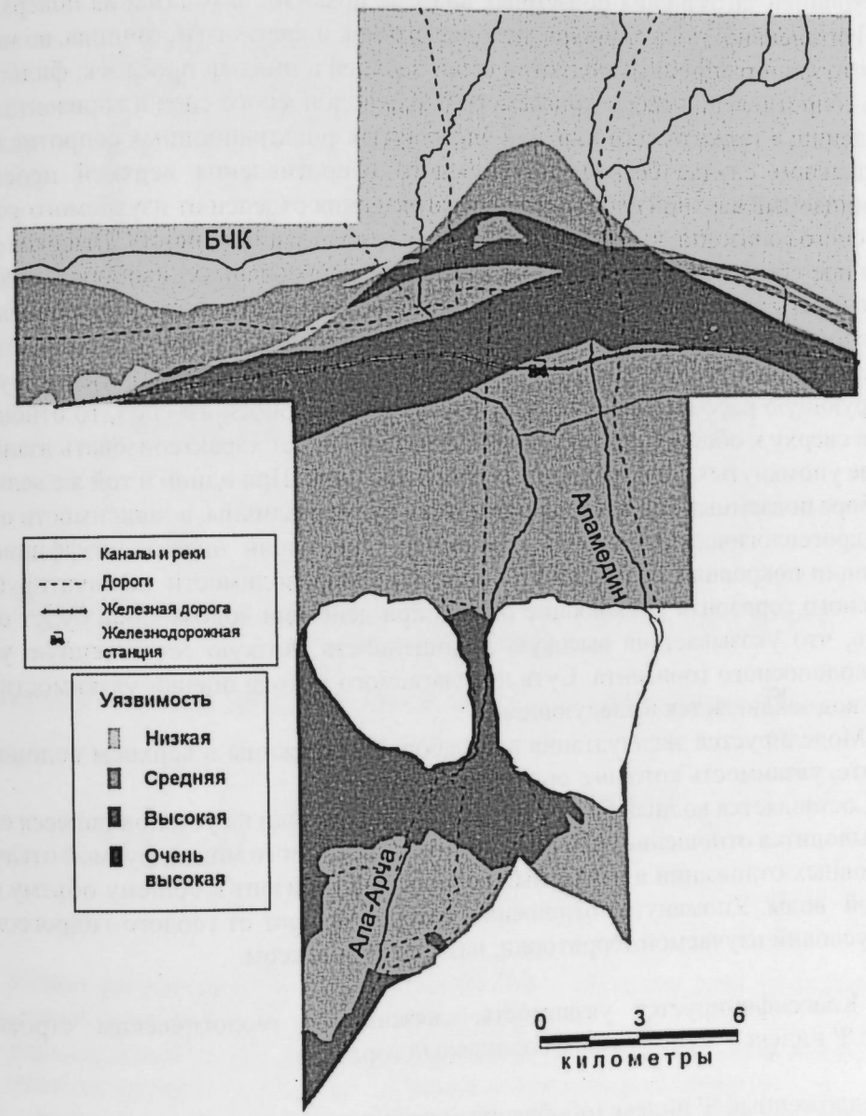


Рис. 2.1. Схема расположения зон различной степени уязвимости грунтовых вод г. Бишкек

2.2. Предлагаемый метод оценки уязвимости подземных вод, Ψ индекс

Метод оценки уязвимости, использованный для водоносного горизонта г. Бишкек, достаточно универсален. Однако он имеет существенный недостаток – субъективность оценок по вышеприведенным 4-м критериям. Главным образом, это касается оценок влияния геолого-гидрогеологических условий. Ниже предлагается более объективный и универсальный критерий влияния геолого-гидрогеологических условий на уязвимость водоносных горизонтов слоистого строения.

Источники загрязнения подземных вод, как правило, находятся на поверхности земли. Интенсивность загрязнения, исходящего от конкретного источника, во многом зависит от фильтрационных сопротивлений верхней и нижней прослоек, фильтрационного сопротивления рассматриваемого блока водоносного слоя в горизонтальном направлении, а также от соотношений упомянутых фильтрационных сопротивлений. В предельном случае бесконечно большого сопротивления верхней прослойки (непроницаемый верхний слой) источник загрязнения отделен от изучаемого участка водоносного горизонта, что указывает на его высокую защищенность. Высокое фильтрационное сопротивление в нижнем и боковых направлениях, наоборот, снижают защищенность рассматриваемой зоны, снижая возможность оттока просочившихся загрязняющих веществ. Целесообразно предложить один параметр, количественно характеризующий вышеописанную ситуацию. Если представить себе скважину, эксплуатирующую рассматриваемую зону изучаемого водоносного слоя, то отношение притока сверху к общему притоку воды в скважину будет характеризовать взаимоотношение упомянутых фильтрационных сопротивлений. При одной и той же величине водозабора подземных вод нисходящие потоки будут различны, в зависимости от геолого-гидрогеологических условий. Например, при очень низких коэффициентах фильтрации покровных отложений и высокой водопроводимости эксплуатируемого водоносного горизонта нисходящие потоки при действии водозаборов будут отсутствовать, что указывает на высокую защищенность (низкую естественную уязвимость) водоносного горизонта. Суть предлагаемого метода оценки уязвимости подземных вод заключается в следующем:

А) Моделируется эксплуатация водозаборной скважины в верхнем водоносном горизонте, уязвимость которого оценивается, рис. 2.2.

Б) Составляется водный баланс моделируемой откачки на установившееся состояние. Выводится отношение величины притока (вызванного моделируемой откачкой) из покровных отложений в изучаемый водоносный горизонт к общему объему откачиваемой воды. Упомянутое отношение, которое зависит от геолого-гидрогеологических условий изучаемой территории, названо Ψ индексом.

В) Классифицируется уязвимость, связанная с геологическим строением. Меньше Ψ индекс – менее уязвим водоносный горизонт.

Предложенный Ψ индекс (обобщенный гидрогеологический показатель) предлагается рассчитывать по нижеследующим зависимостям:

$$\Psi = \frac{Q_1}{Q}, \qquad (2.1)$$

где

Q – объем откачиваемой воды из моделируемой скважины, м^3/сут;

Q_1 – приток подземных вод из покровного слоя в верхний водоносный горизонт под действием откачки, м^3/сут, см. рис. 2.2;

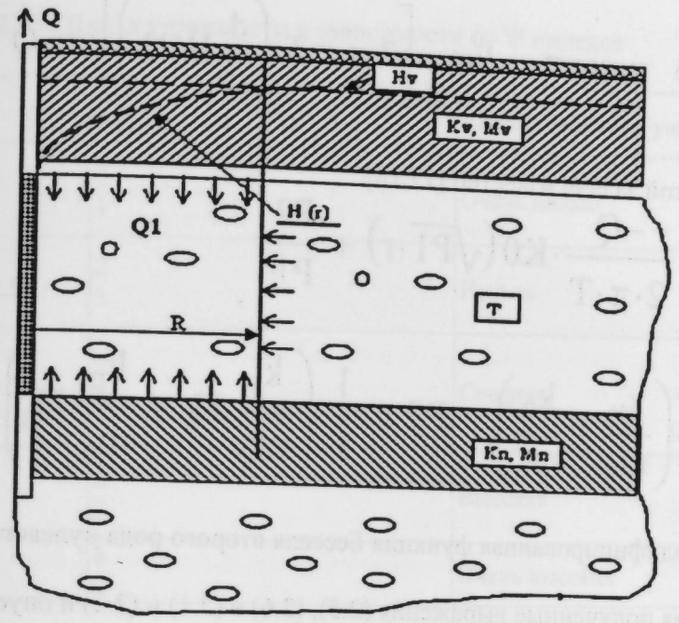


Рис. 2.2. Типовая фильтрационная схема работы моделируемой скважины в верхнем водоносном горизонте

Пользуясь законами динамики подземных вод, получаем формулу для расчета Q_1:

$$Q_1 = \int_0^R 2 \cdot \pi \cdot r \cdot k_v \cdot \frac{(H_v - H(r))}{m_v}\, dr, \qquad (2.2)$$

где

R – радиус рассматриваемой зоны (обычно 100 – 200 м, вне этой зоны нисходящий ток, вызванный откачкой, пренебрежимо мал), м;

k_v – вертикальный коэффициент фильтрации покровных отложений, м/сут;

H_v – отметка уровней грунтовых вод (напор в покровных отложениях), м;

H(r) – напор в рассматриваемом водоносном горизонте, зависящий от r (расстояние до центра скважины), м;

m_v – мощность покровных отложений, м;

T – водопроводимость рассматриваемого водоносного горизонта, м^2/сут.

Для рассматриваемого случая одиночной скважины H(r) является решением следующей задачи:

$$T \cdot \frac{1}{r} \cdot \left[\frac{d}{dr}\left[r \cdot \left(\frac{d}{dr} H(r)\right)\right]\right] + k_v \cdot \left(\frac{H_v - H(r)}{m_v}\right) + k_n \cdot \left(\frac{H_n - H(r)}{m_n}\right) = 0 \qquad (2.3)$$

$$\lim_{r \to \infty} H(r) = \text{const} \quad \lim_{r \to 0} \left[2 \cdot \pi \cdot r \cdot T \cdot \left(\frac{d}{dr} H(r) \right) \right] = Q \qquad (2.4)$$

Решение этой задачи известно [17,18]:

$$H(r) = \frac{-Q}{2 \cdot \pi \cdot T} \cdot K0\left(\sqrt{P1} \cdot r\right) + \frac{P2}{P1}, \qquad (2.5)$$

где

$$P1 = \frac{1}{T} \cdot \left(\frac{k_v}{m_v} + \frac{k_n}{m_n} \right) \quad P2 = \frac{1}{T} \cdot \left(\frac{k_v}{m_v} \cdot H_v + \frac{k_n}{m_n} \cdot H_n \right) \qquad (2.6)$$

K0(x) – модифицированная функция Бесселя второго рода нулевого порядка.

Подставляя полученные выражения (2.5), (2.6) в (2.1) и (2.2) и опуская промежуточные выкладки, получим:

$$\Psi(R) = \frac{k_v}{T \cdot m_v \cdot P1} \cdot \left(1 - R \cdot \sqrt{P1} \cdot K1\left(\sqrt{P1} \cdot R\right)\right), \qquad (2.7)$$

где k1(x) – модифицированная функция Бесселя второго рода первого порядка.

При получении последнего выражения использовано нижеследующее свойство цилиндрической функции k1(x):

$$\lim_{x \to 0} (x \cdot K1(x)) = 1 \qquad (2.8)$$

Кроме того, использовано предположение Hv = Hn, которое вполне допустимо для решения поставленных в данной работе задач.

Предлагаемый Ψ индекс может быть использован вместо 2-х приведенных выше критериев (мощность покровных отложений и экспертная оценки геолого-гидрогеологических условий). Его преимущество – более объективная оценка гидрогеологических условий на основе количественной реакции на действие водозаборных скважин. Два оставшихся критерия (глубина уровня грунтовых вод и расположение поверхностных водных источников) предлагается использовать совместно с Ψ индексом тем же способом, что и в предыдущем случае. В зависимости от величины Ψ предлагается шкала уязвимости, табл. 2.3.

Таблица 2.3 - Шкала уязвимости в зависимости от Ψ индекса

Значения Ψ	Количественный показатель уязвимости	Характеристика уязвимости
0.0-0.1 0.1-0.2	0 1	Очень низкая
0.2-0.3 0.3-0.4	2 3	Низкая
0.4-0.5 0.5-0.6	4 5	Средняя
0.6-0.7 0.7-0.8	6 7	Высокая
0.8-0.9 0.9-1.0	8 9	Очень высокая

2.3. Использование Ψ индекса для оценки уязвимости водоносных горизонтов Чуйской долины

Предлагаемый подход использован для оценки уязвимости водоносных горизонтов Чуйской долины, четвертичные отложения которой подразделяются на 13 геологических створов (по фильтрационным свойствам и строению). Источником исходных данных послужили многочисленные натурные исследования организаций Кыргызстана и бывшего СССР, проведенные начиная с 50-х годов прошлого века. Результаты расчетов Ψ индекса для каждого геологического створа приведены в табл. 2.4. Там же приведены данные, характеризующие влияние 2-х остальных критериев уязвимости.

Результирующие значения уязвимости, использующие все 3 критерия, приведены в табл. 2.5.

Построенная «карта – схема» уязвимости подземных вод Чуйской долины приведена на рис. 2.3. Карта схема может быть использована при планировании развития региона.

В северной части долины наблюдаются несколько зон очень низкой уязвимости, что является следствием наличия мощных покровных отложений и сравнительно глубокого залегания уровней грунтовых вод. Обращает на себя внимание «лента» высокой проводимости расположенная вдоль границы зон формирования и выклинивания подземных вод. Это обстоятельство необходимо учитывать при решении проблем защиты от загрязнения (от использования агрохимии; от загрязнений, связанных с животноводческими фермами, и т. п.).

Таблица 2.4. Применение критериев уязвимости водоносных горизонтов Чуйской долины (с использованием Ψ индекса)

Критерии естественной уязвимости	Классификация используемых критериев уязвимости	Количественный показатель уязвимости
Ψ индекс (рассчитан для каждого из приведенных в следующем столбце гидрогеологических створов Чуйской долины)	Карабалтинский створ	4
	Новотроицкий створ	5
	Панфиловский створ	5
	Ивановский створ	4
	Боролдай-Токмакский створ	5
	Ала-Арчинский створ	3
	Чаткуль-Ставропольский створ	2
	Створ Саргоу	1
	Атбашинский створ	1
	Георгиевский створ	2
	Иссык-Атинский створ	2
	Токмак-Чумышский створ	4
	Чумыш-Ташуткульский створ	2
Глубина уровней грунтовых вод	0-5 м	4
	5-10 м	3
	10-50 м	2
	>50 м	1
Условия поверхностного питания грунтовых вод	Зона инфильтрации из реки	2
	Зона формирования	1
	Зона выклинивания	0

Таблица 2.5. Суммарные оценки зон уязвимости с использованием данных табл. 2.4

Сумма баллов по 3 критериям уязвимости	Классификация уязвимости верхней части системы водоносных горизонтов
1-4	Очень низкая
5-6	Низкая
7-8	Средняя
9-11	Высокая
12	Очень высокая

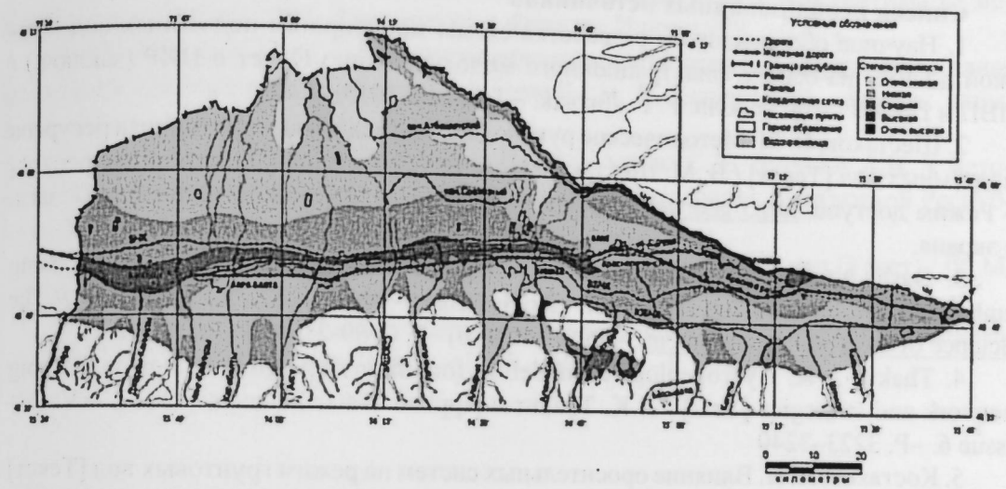


Рис. 5.3. Схематическая карта уязвимости грунтовых вод Чуйской долины

Заключение

Предлагаемый в данном разделе подход к оценке влияния гидрогеологических условий на уязвимость водоносного горизонта основан на анализе «отклика» гидрогеологической системы на водозабор подземных вод, который (как правило) способствует загрязнению последних. В качестве комплексного критерия уязвимости предлагается отношение притока сверху, вызванного эксплуатацией водозабора, к его общему дебиту (Ψ критерий). В отдельных зонах величину Ψ можно определить, опираясь на полевой эксперимент (кустовая опытная откачка с множеством наблюдательных скважин и пьезометров).

Более реальный путь – моделирование работы «виртуальных» скважин и водозаборов по всей рассматриваемой территории, расчеты соответствующих значений Ψ и разделение исследуемой территории на соответствующие зоны. Далее предложенный критерий налагается на другие критерии уязвимости. В нашем случае это условия поверхностного питания грунтовых вод и глубина уровней грунтовых вод. Здесь предложено аналитическое выражение для расчетов величины Ψ, основанное на достаточно простой модели эксплуатации скважины в условиях водоносного горизонта слоистого строения. Разработанные методические приемы использованы для оценки уязвимости водоносного горизонта Кыргызской части Чуйской долины. Предлагаемый количественный Ψ критерий позволяет повысить объективность оценки естественной уязвимости подземных вод. Он особенно эффективен для водоносных горизонтов в условиях межгорных долин, их характерная особенность – слоистое строение (водоносные слои чередуются со слабопроницаемыми прослойками). Получение дополнительной информации о фильтрационных свойствах и геологическом строении изучаемой территории позволяет совершенствовать предлагаемый Ψ критерий.

Список использованных источников

1. Научное обоснование и разработка схемы мониторинга подземных вод Чуйской долины на основе фильтрационного моделирования: Отчет о НИР (заключ.) / ИВП и ГЭ АН ; отв. исполн. Р. Г. Литвак. – Бишкек. 2015. –140 с.

2. Шестаков, В. М. Методическое руководство по ведению мониторинга ресурсов подземных вод [Текст] / В. М. Шестаков, С. А. Брусиловский. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://geo.web.ru/db/msg.html?mid= 1178566&uri=index.html – загл. с экрана.

3. Bashi-Azghadi SN. Locating monitoring wells in groundwater systems using embedded optimization and simulation models / Bashi-Azghadi SN, Kerachian R. // The Science of the Total Environment. –2009. –408(10) –P. 2189-2198.

4. Thakur J. K. Hydrogeological modeling for improving groundwater monitoring network and strategies [Text] / J. K. Thakur // Applied Water Science/ –2017. – V. 7. – Issue 6. –P. 3223–3240

5. Костяков, А. Н. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод [Текст] / А. Н. Костяков, Н. Н. Фаварин, С. Ф. Аверьянов. – М.: Издателство АН СССР, 1956. – 451 с.

6. Шестаков, В. М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа [Текст] / В. М. Шестаков. – М.: Издательство Московского Университета, 1965. – 221 с.

7. Упорядочение сети режимных наблюдений с целью организации изучения баланса подземных вод чуйской впадины [текст] : отчет за 1975 - 1980г. / северо-киргизская комплексная гидрогеологическая партия киргизской гидрогеологической экспедиции ; рук. В. М. Шестаков ; исполн.: кривченко о. С. –том i, – книга i. – Фрунзе, 1980. – 232 с.

8. Gogu, R. C. Current trend and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods [Text] / R. C. Gogy, A. Dassargues // Environment Geology, – 2000. №39 (6). – P. 549-559.

9. Gogu, R. Comparison of aquifer vulnerability assessment techniques [Text]: Application to the Neblon river basin (Belgium) / R. Gogu, V. Hallet, A. Dassargues. // Environment Geology. 2003.№44 (8). – P. 881 – 892.

10. Morris, B. L. Urban groundwater protection and management: lessons from developing cities in Bangladesh and Kyrghyzstan [Текст] / . B. L. Morris, R. G. Litvak, K. M. Ahmed. // NATO Science Series:, IV Earth and Environmental Sciences. –2002. –Vol.8. – P. 77 – 102.

11. Литвак, Р. Г. Оценка естественной уязвимости водоносных горизонтов в условиях межгорных долин на примере Чуйской долины Кыргызстана [Текст] / Р. Г. Литвак // Наука и инновация (*научный журнал*): серия геологических и технических наук, Таджикский национальный университет. –2018. –№ 3, – С.3-12.

12. Соболин, Г.В. Земельно-водные ресурсы, гидрологическая характеристика рек и паспорта водозаборных узлов оросительных систем Чуйской долины [Текст] / Г. В. Соболин. // Часть 1. Земельно-водные ресурсы, мелиоративное состояние орошаемых земель и оросительных систем. КНИИЭА. – Фрунзе.:1990. – 121 с.

13. Гидрогеология СССР [Текст] : Киргизская ССР. т.XI – М. Недра, 1971. – 487 с.

14. Григоренко, П. Г. Подземные воды бассейна реки Чу и перспективы их использования [Текст] / П. Г. Григоренко. - Фрунзе.: Илим, 1979. – 187 с.

15. Каплинский, М. И. Прогнозирование изменений дренажного стока под влиянием водохозяйственных мероприятий [текст] / м. И. Каплинский. –фрунзе: илим, 1977. – 92 с.

16. Кожобаев К.А., Молдогазиева Г.Т., Бекболотова С.Д., Детушев А.В. к методике оценки степени защищенности подземных вод в условиях Кыргызской Республики // геоэкология. 2008. № 4. С.373-376.

17. Бочевер, Ф. М. Проектирование водозаборов подземных вод [Текст] / Ф. М. Бочевер . - М.: 1976. - 289 с.

18. Hantush, M. S. Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer / M. S. Hantush, C. E. Jacob. // Trans Geophys. Union. – 1955. – Vol. 36. – P. 95-100.

ГЛАВА 4. КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ РЕК ЧУЙСКОГО, ИССЫК-КУЛЬСКОГО И НАРЫНСКОГО БАССЕЙНОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Н. В. Ершова; О.М. Стрижанцева; Л.В. Бажанова; А. К. Мамбетова

Формирование стока рек зависит от климатических факторов и факторов подстилающей поверхности. В условиях горного рельефа Кыргызстана огромное значение в формирование стока играет ледниковый сток, а формирование катастрофических паводков связано выходами селевых потоков и прорывами ледниковых и термокарстовых озер [1, 2,3,4,5,6].

Наблюдение за режимом стока рек проводится на сети наблюдательных постов Кыргызгидромета. Хорошо и четко отлаженная в течение прошлого века система гидрологических наблюдений значительно сократилась в 90-х годах 20 века. Это привело к большому уменьшению информации по рекам КР, необходимой для выполнения гидрологических расчётов при оценке водных ресурсов, при разработке гидрологический обоснований при строительстве ГЭС, планирования вододеления, водопользования и других мероприятий. В силу сложившейся ситуации накопленные продолжительные ряды наблюдений по основным рекам и их притокам можно использовать для гидрологических расчетов, обоснований, а при отсутствии данных наблюдений - в качестве аналогов.

Представленная глава монографии посвящена решению задачи восстановления среднегодовых и среднемесячных расходов воды для рек с пропущенными рядами наблюдений.

Понимание процессов формирования стока и мониторинг водных ресурсов также приобретает особую актуальность на фоне происходящих климатических изменений и является жизненно важной задачей для Кыргызстана [6-11|. Задачу уточнения гидрологических характеристик рек Кыргызстана, оценки нормы стока рек в створах неохваченных гидрологическими наблюдениями в условиях изменения климата и оценки его влияния на сток рек КР необходимо решить в ближайшее время на основе восстановленных гидрологических рядов.

Основная цель данных исследований, заключалась в проведении анализа современного состояния гидрологической сети наблюдений (мониторинга) на реках Чуйского, Иссык-Кульского и Нарынского бассейнов.

Масштабное, порой необоснованное, закрытие гидрологических постов в период после 1992 г. привело к сокращению информации по рекам КР, необходимой для выполнения гидрологических расчётов, а именно: при оценке водных ресурсов, при разработкег идрологического обоснования при строительстве ГЭС, а также планов вододеления, водопользования и других мероприятий. За советский период (до 90-х годов прошлого столетия) по основным рекам и многим их притокам были накоплены продолжительные ряды наблюдений, которые можно использовать для гидрологических расчетов, обоснований, при отсутствии данных наблюдений,в качестве аналогов.

В период сокращения сети вместе с второстепенными гидропостами на небольших реках были закрыты и важные с точки зрения гидрологии гидропосты на реках, которые можно привлекать в качестве аналогов. По этой причине в настоящее время

заинтересованные организации, занимающиеся в сфере водных ресурсов, испытывают острый недостаток в гидрологической информации.

В создавшихся условиях недостатка необходимой гидрологической информации перед лабораторией поверхностных водных ресурсов была поставлена задача провести анализ правомерности (с точки зрения научной и инженерной необходимости) сокращения ранее действующей гидрометрической сети и разработать рекомендации по её оптимизации.

В основу расчетов взят метод гидрологической аналогии, сущность которого состоит в подборе опорных рек-аналогов с действующими гидрологическими постами, данные которых используются для восстановления среднегодовых и среднемесячных расходов воды для рек с пропущенными рядами наблюдений [12-17]. В дальнейшем полученные данные позволят выбрать и рекомендовать оптимальное количество гидрологических постов на реках-аналогах, минимизировать количество гидрологических постов, повысить качество наблюдений на действующих гидропостах, обеспечив их необходимыми современными средствами измерений.

Полученные результаты могут быть использованы Агентством по Гидрометеорологии КР для усовершенствования и оптимизации гидрологического мониторинга, данные которого необходимы при проектировании и строительстве средних и малых ГЭС, в научных исследованиях по динамике стока рек на фоне климатических изменений, при оценке водных ресурсов, а также в сфере водопользования и вододеления.

1. Гидрологическая изученность

За период работ (2016-2019 гг.) по данной теме была собрана и обработана гидрологическая информации по рекам Чуйского, Иссык-Кульского, Нарынского бассейнов (рисунок 1.1).

В советский период (до 1987 г.) информация (данные наблюдений и подсчета стока) по всем гидрологическим постам КР обрабатывалась и помещалась в Гидрологические ежегодники. В 1963 году было принято решение об обобщении всей имеющейся гидрологической информации в единое издание – Водный кадастр СССР.

Первое издание Водного кадастра «Гидрологическая изученность» содержит сведения о количестве и размерах рек, озёр, водохранилищ, их стационарной и экспедиционной изученности в гидрографических границах основных бассейнов, а не в административных границах республик Средней Азии [18,19].

Второе издание «Основные гидрологические характеристики» (ОГХ), содержит проверенные материалы наблюдений по режиму рек, озёр и водохранилищ на станциях и постах за период с начала их действия по 1962 г. включительно и сведения по 427 гидрологическим постам (УГМС и Минводхоза). В дальнейшем ОГХ дополнялись новыми изданиями за периоды 1963-1970, 1971-1975, 1976-1980 гг.

В изданиях ОГХ до 1976 г. приводятся сведения по гидропостам на реках в границах гидрографических бассейнов, и только выпуск за 1976-1980 гг. включает данные в пределах государственной границы Кыргызстана.[20,21,22,23].

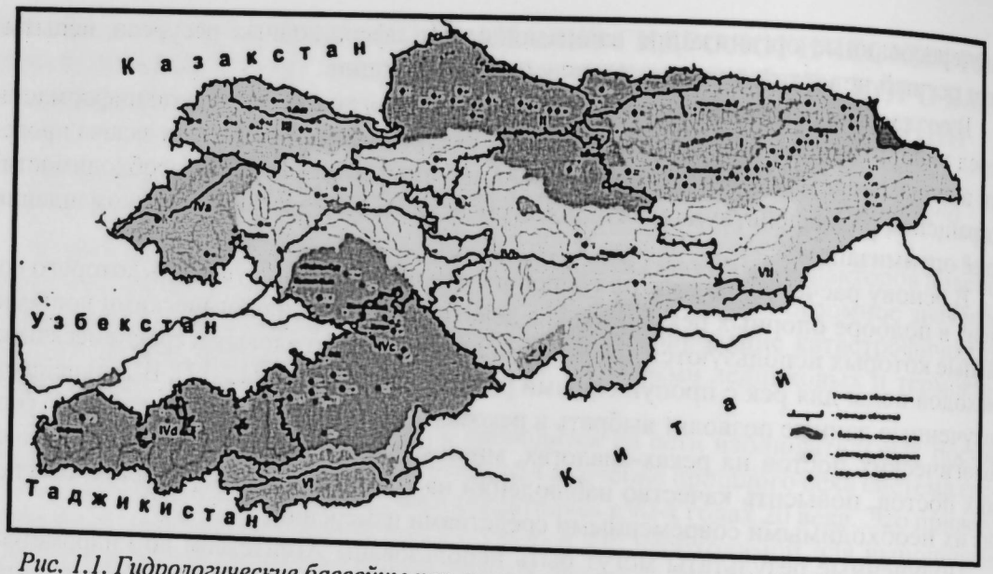


Рис. 1.1. Гидрологические бассейны рек, рассмотренные в отчёте: Иссык-Кульский – желтый; Чуйский – зеленый; Нарынский – розовый

Третье издание - Монография «Ресурсы поверхностных вод СССР», вышло в 1969 и 1973 г. в неё вошли реки Кыргызстана в один 14 том, но в два выпуска: вып.1 – бассейн р.Сыр-Дарья (1969) и вып. 2 - бассейны оз. Иссык-Куль, и рек Чу, Талас, Тарим (1973) [4,20].

Монография представляет собой научное обобщение данных о режиме рек, озер и других водных объектов с практическими рекомендациями по расчетам элементов водного режима, как при наличии, так и при отсутствии или недостаточности данных наблюдений. В монографии помещены сведения о степени гидрологической изученности рек, их гидрологические характеристики по всем фазам режима стока по 250 гидропостам. Гидрометрическая сеть периода до 1991 г. охватывала не только основные реки, но и их притоки, и распределялась с учетом не только площади, но и высотной зональности.

После распада СССР перед Кыргызгидрометом встали трудные экономические проблемы, связанные со слабым финансированием, обеспечением приборами, инструментами, оборудованием разветвленной сети гидрометеорологических станций и постов, и началось ее сокращение.

По данным на 1992 г. гидрологическая сеть насчитывала 124 поста; на 1998 г. их осталось – 84, на 2000 г.– 55. Так гидрологическая информация, предоставленная Агентством по гидрометеорологии за 2017 год по 77 действующим г/постам, фактически включает данные наблюдений в полном объёме только по 56 из них (73% от действущих). Причина отсутствия данных наблюдений в основном технического плана.

В результате сокращения наблюдательной сети Кыргызгидромета (почти на 80%), практически полного закрытия ведомственной сети Минводхоза и других организаций (рисунки 1.2, 1.3, 1,4). В настоящий период возник острый недостаток гидрологической информации необходимой для научного анализа, расчетов, оценке водных ресурсов, а качество, объективность поступающей гидрологической информации вызывает очень большие сомнения.

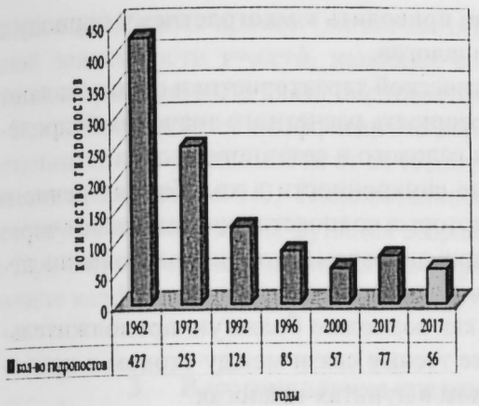


Рис. 1.2. Количество гидрологических постов в разные годы

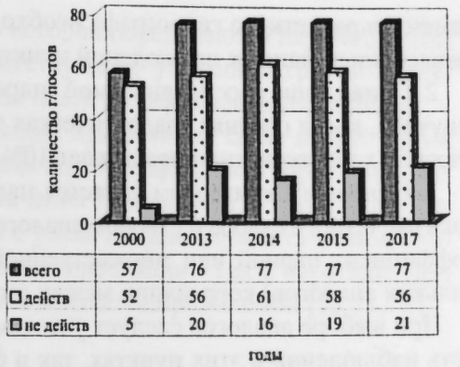


Рис. 1.3. Соотношение всех и фактически действующих гидропостов после 2000 г.

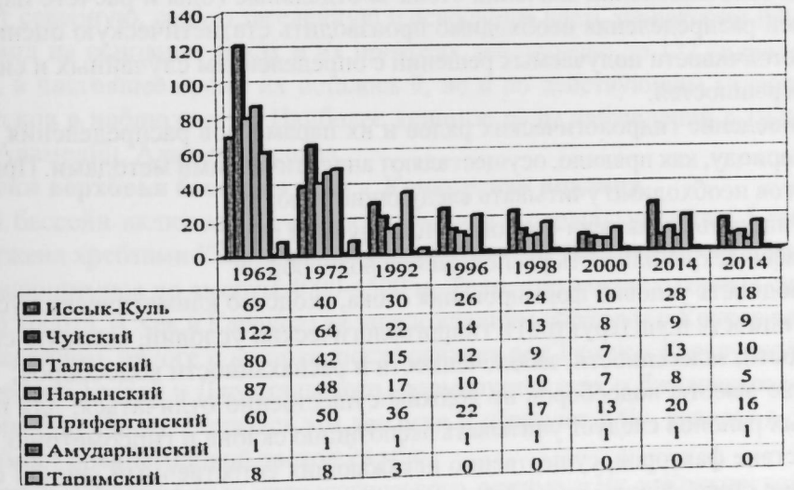


Рис. 1.4. Количество гидрологических постов на реках по основным бассейнам

2. Определение расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений

2.1. Метод приведения рядов гидрологических характеристик и их параметров к многолетнему периоду

С целью воссстановления гидрологических данных по рекам с закрытыми гидрометрическими постами или прерванным рядом наблюдений использован метод гидрологической аналогии, который заключается в подборе реки-аналога.

Данный метод заключается в следущих подходах:

1. При недостаточности данных гидрометрических наблюдений параметры кривых распределения вероятностей гидрологических характеристик, а также основных

элементов расчетного гидрографа необходимо приводить к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов.

2. Приведение рассматриваемой гидрологической характеристики осуществляют в случаях, когда средняя квадратическая погрешность расчетного значения гидрологической характеристики превышает 10% для годового и сезонного стоков.

3. Основным критерием является наличие синхронности в колебаниях речного стока расчетного створа и створов-аналогов, которые количественно выражают через коэффициент парной или множественной (при одновременном использовании нескольких аналогов) корреляции между стоком в этих пунктах.

При выборе аналогов следует учитывать как возможно большую продолжительность наблюдений в этих пунктах, так и более тесные связи между стоком в приводимом к многолетнему периоду пункте и стоком в пунктах-аналогах.

При выборе пунктов-аналогов необходимо учитывать пространственную связанность рассматриваемой гидрологической характеристики, которую количественно выражают через матрицу парных коэффициентов корреляции.

4. При восстановлении значений стока за отдельные годы и расчете параметров и квантилей распределения необходимо производить статистическую оценку значимости и устойчивости получаемых решений с определением случайных и систематических погрешностей.

5. Приведение гидрологических рядов и их параметров распределения к многолетнему периоду, как правило, осуществляют аналитическими методами. При выборе рек-аналогов необходимо учитывать следующие условия:

однотипность стока реки-аналога и исследуемой реки;

географическую близость расположения водосборов;

однородность условий формирования стока, сходство климатических условий;

однотипность почв (грунтов) и гидрогеологических условий, близкую степень;

озерности, залесенности, заболоченности и распаханности водосборов;

средние высоты водосборов не должны существенно отличаться, для горных и полугорных районов следует учитывать экспозицию склона и гипсометрию;

отсутствие факторов, существенно искажающих естественный речной сток (регулирование стока, сбросы воды, изъятие стока на орошение и другие нужды).

Продолжительность периода наблюдений считается достаточной, если рассматриваемый период репрезентативен (представителен), а относительная средняя квадратическая погрешность расчетного значения исследуемой гидрологической характеристики не превышает 10% для годового и сезонного стока и 20% - для максимального и минимального стока [12].

В основу анализа был взят метод линейной корреляция между двумя переменными. Корреляционные линейные связи широко используются в гидрологии для приводки характеристик рядов стока к многолетним значениям, для восстановления пропущенных рядов, для прогноза стока и уровней воды по данным о стоке реки-аналога.

Основные положения, описывающие корреляционные линейные зависимости двух переменных, заключаются в следующем: при нанесении на график соответственных значений x и y образуется группа точек, более или менее закономерно расположенных вдоль прямой (линии связи), по которой определяются параметры линейной зависимости $y=ax+b$, наиболее соответствующие указанной группе точек. Теснота и приемлемость связи оценивается величиной коэффициента корреляции.

Основные свойства коэффициента корреляции: при наличии связи между двумя переменными и в зависимости от её тесноты величина коэффициента корреляции изменяется в пределах ± 1,0. Положительные значения коэффициента корреляции соответствуют случаю, когда функция возрастает с увеличением аргумента – связь прямая. При отрицательных значениях коэффициента корреляции – связь обратная. При величине коэффициента корреляции ≥ 0,65 связи считается приемлемой [13,15,16].

3. Восстановление средних годовых расходов воды

При восстановлении расходов воды в каждом бассейне реки были поделены на группы, по гидрографическим и гидрологическим параметрам.

3.1. Чуйский бассейн

Занимает северную, самую заселенную и освоенную часть территории КР. В советский период на основных реках и их притоках действовало до 122 гидрологических постов, в настоящее время их осталось 9, но и по действующим гидропостам много пропусков в наблюдениях. Наиболее длинные ряды наблюдений с 1926-1928 гг. на реках Аламедин, Алаарча, Аспара.

3.1.1. Реки верховья бассейна р.Чу - Кочкорская впадина

Чуйский бассейн включает *Кочкорскую впадину* – площадью свыше 5 тыс.км^2, которая окружена хребтами Кыргызским, Тескей-Ала-Тоо, Джумгальским и их отрогами, поднимающимися до высоты 4000-4500 м. Реки, стекающие с горных склонов Кыргызского хребта, (Суек и Каракол) на западе впадины образуют р.Кочкор со среднегорным бассейном, на юге и востоке, после слияния рек Тюлек и Каракуджур, стекающих с хребтов Тескей и Джумгальского, формируется сток р.Джуанарык с более высокогорным бассейном. Сливаясь эти две реки и образуют р.Чу, которая в створе с.Кочкорка имеет среднегодовой расход 28 м^3/с.

Характерной особенностью гидрологического режима р.Чу в Кочкорской впадине является высокая степень естественной зарегулированности стока, связанная с обилием грунтовых (подземных) вод в мощных толщах четвертичных отложений. Коэффициент естественной зарегулированности стока, численно характеризующий долю устойчивого (базисного) стока в годовом объёме внутригодового стока, составляет 0,84 [1,4].

Образуясь от слияния рек Кочкор и Джуанарык, русло реки рассекает горный массив хребтов Караго и Кыргызского (в местах их смыкания), протекает по небольшим котловинам-ущельям – Верхне- и Нижне-Орто-Токойскому. В створе Нижнего сооружена плотина Орто-Токойского водохранилища (1957 г) общим объёмом 470 млн. м^3, сезонного регулирования, которое изменило естественный режим стока реки Чу. После выхода из ущелья на р.Чу (период 1946-1991гг.) действовал гидропост «устье р.Чон-Кемин», расположенный в 1 км выше устья. Данный гидропост фиксировал неискаженный сток р.Чу до строительства Орто-Токойского водохранилища (1959 г.), а в последующие годы - сброс из водохранилища. На всех перечисленных реках в течение ряда лет действовали гидрологические посты (таблица 3.1).

Таблица 3.1. Список гидрологических постов и характеристики рек Кочкорской впадины.

Река - пункт	Период наблюдений	Площ. водосб. км²	Средневзвеш. высота, м	Степень оледен. %	Показ. типа питан. δ	Примечание
Чу –с.Кочкорка	1932-1994, 1996-2003, 2005, 2014	5370	2840	1,0	1,13	Нет данных 2006-2013
Чу-у.р.Чон-Кемин	1946-1991	7220	2760	1,0	1,10	закрыт 1992
Джуанарыкс-Кумбельата	1937-1965	2240	3100	<1,0	1,15	закрыт 1966
Каракуджур-с.Сарыбулак	1932-1998	1240	3190			закрыт 1999
Тюлек-аул Тюлек	1941-1998	382	3100			закрыт 1999
Кочкор-с.Кочкорка	1936-1941 1949-1965, 1967-1985	2590	2800	<1,0	0,99	закрыт 1986
Суек-у.р.Ичкесай	1937-1995	470	3240			закрыт 1996
Каракол-у.р.Ирису	1938-1998	391	3420			закрыт 1999

Из приведенных сведений можно сделать вывод, что в прошлом гидропосты в достаточной степени освещали сток р.Чу и её составляющих в пределах Кочкорской впадины. Однако после массового закрытия, картина изменилась, гидрологические наблюдения и информация сведены до минимума. Единственный действующий в данный период гидропост р.Чу-с.Кочкорка (входной в Орто-Токойское вдхр.), но и он в период 2006-2013 гг. не функционировал (в основном по техническим причинам).

Далее приведены таблицы и графики подбора аналогов для восстановления стока за пропущенные годы по рекам Кочкорской впадины. Составляющие реки Джуанарык это реки Каракуджур и Тюлек, и р.Кочкора - это Суек и Каракол имеют довольно продолжительный период наблюдений и имеющихся данных вполне достаточно для необходимых расчетов гидрологических параметров. При этом, имея сведения по р.Чу-с.Кочкорка, с достаточной степенью точности можно восстановить сток рек Джуанарык и Кочкор (рисунок 3.1). Коэффициент корреляции полученных связей 0,90 и 0, 71.

Наиболее актуален вопрос восстановления стока р.Чу-с.Кочкорка, сведения по которому необходимы в оперативном порядке, для прогноза притока в Орто-Токойское водохранилище. Наблюдения на гидропосту Чу-Кочкорка имеют пропуски в период 2006-2013 гг. Подбор аналогов среди рек Чуйского бассейна не дал результатов и тесных корреляционных зависимостей, поскольку все они имеют разные гидрографические характеристики (площадь, высота водосбора, степень оледенения) и гидрологические параметры (расход воды, показатель типа питания, коэффициент естественной зарегулированности стока и т.д.). По некоторым параметрам в качестве аналога была взята р.Чон-Кемин - «устье», однако связь не тесная, коэффициент корреляции равен 0,53.

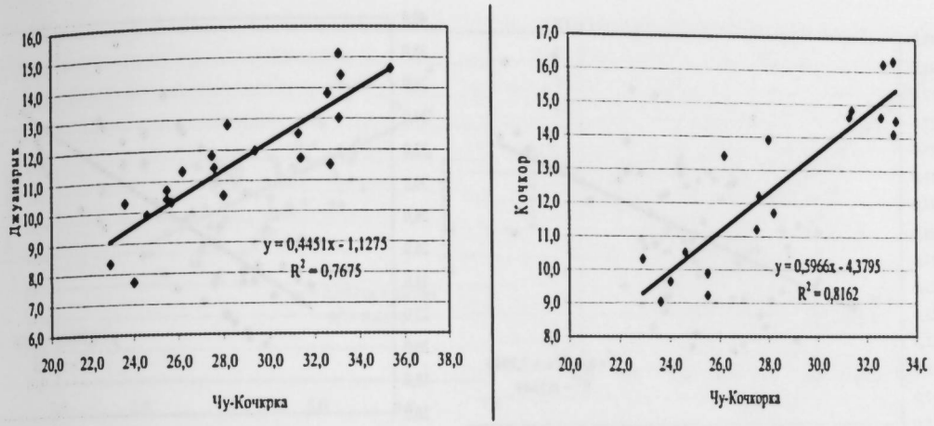


Рис. 3.1. Связь среднегодовых расходов воды р.Чу и рек Джуанарык и Кочкор
Ниже представлены уравнения регрессии, описывающие эти линейные связи:

$$y = 0{,}445x - 1{,}128 \quad (1),$$

где y – расход воды р.Джуанарык, x - расход р.Чу-Кочкорка;

$$y = 0{,}597x - 4{,}3799 \quad (2),$$

где y – расход воды р.Кочкор, x – расход р.Чу-Кочкорка.

Более тесную корреляционную зависимость дала связь среднегодовых расходов воды р.Чу - с.Кочкорка с р.Джергалан –с.Михайловка, которая подошла по многим характеристикам и показателям. Эта река и была взята в качестве аналога (таблица.3.2, рисунок 3.2).

Таблица 3.2. Подбор аналогов для гидропоста р.Чу-с.Кочкорка

Река – пункт	F, км²	H, м	$Q_{ср.год.}$	Тип питания δ	Естеств. Зарегулир φ	Оледен. %	Коэф. корелляции
Чу-с.Кочкорка	5370	2840	28,7	1,13	0,84	1,0	
Чон-Кемин-устье	1890	3010	22,6	1,70	0,73	6,0	0,54
Джергалан-с.Михайловка	2060	2840	21,5	0,53	0,81	5,0	0,71

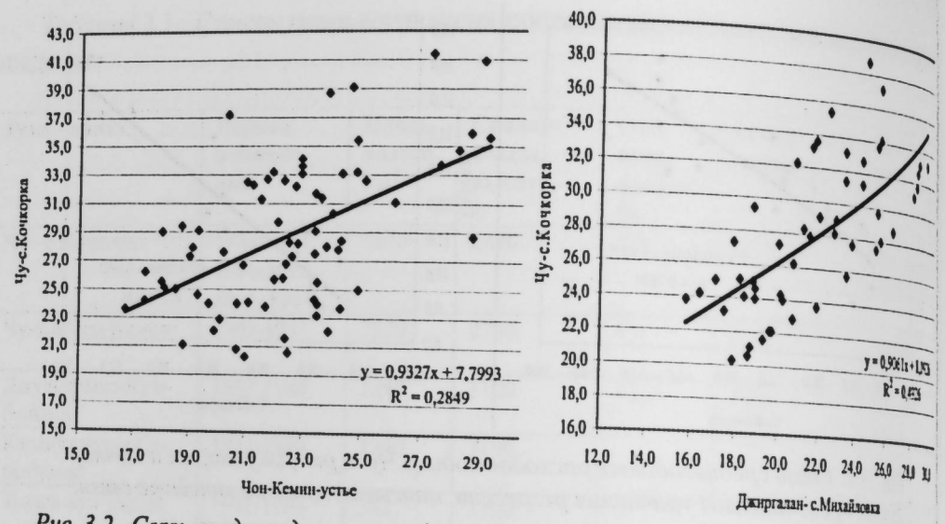


Рис. 3.2. Связь среднегодовых расходов воды рек Чу и рек Чон-Кемин и Джергалан

В таблице 3.3 приведены результаты корреляционной связи р.Чу – с.Кочкорка с реками-аналогами.

Таблица 3.3. Уравнения регрессии для восстановления стока р.Чу-Кочкорка

Река	Река-аналог	Уравнение связи	Коэф.корреляции	Погрешность расчета, м³/с
Чу-с.Кочкорка	Джергалан-с.Михайловка	0,906x+8,093	0,71	-0,9
	Чон-Кемин-устье	0,933+7,799	0,54	

3.1.2. Реки - правые притоки р. Чу

Наиболее значимый правый приток р.Чу - река Чон-Кемин, на которой действовало два гидрологических поста – «устье» и «устье р.Карагайлибулак». Гидропост «устье» действовал в период 1929-2010 гг. В период после 2010 г. он не функционировал по самым разным причинам, в основном технического характера.

Для восстановления пропусков в наблюдениях (2011-2014гг.) была попытка в качестве аналога взять р.Аламедин, но связь не тесная (К=0,46), более тесной оказалась связь с данными по г/посту на р.Алаарча (К=0,68) (таблица 3.4, рисунок.3.3).

Таблица 3.4 - Основные характеристики рек и их водосборных бассейнов

Река	F,км²	H, м	$Q_{ср.год.}$	δ	φ	Оледен. %	Коэфф. корреляции
Чон-Кемин	1890	3010	22,6	1,70	0,73	6,0	
Аламедин	317	3260	6,55	2,70	0,60	15	0,46
Алаарча	233	3290	4,62	2,24		17	0,68

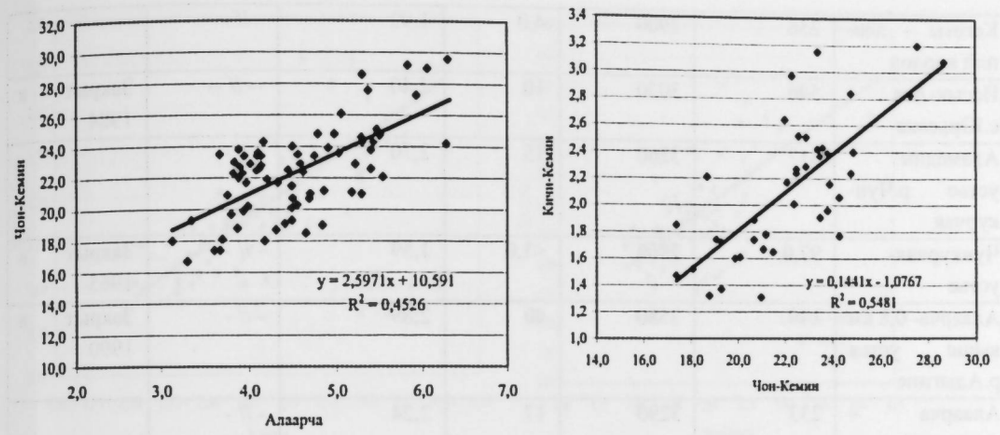


Рис. 3.3. Связь расходов воды рек Чон-Кемин и Алаарча и рек Чон- и Кичи-Кемин

Среднегодовой сток р.Кичи-Кемин имеет тесную связь со стоком р.Чон-Кемин-устье (К=0,75), по которому он и был восстановлен за период отсутствия наблюдений.

3.1.3. Реки - левые притоки р.Чу, стекающие с северного склона Кыргызского хребта

К этой группе относятся левые притоки р.Чу от Кызыл-Суу (на востоке) до Аспары на западе, их характеристики помещены в таблице 3.5. В настоящее время гидрологические наблюдения ведутся только на реках Кегеты, Аламедин, Алаарча, Сокулук, Карабалты и Чон-Каинды. На реке Кызыл-Суу – с.Бакбулак гидропост закрыт в 1994 г. Наиболее близкая к ней по гидрографическим и гидрологическим параметрам р.Кегеты - лесной кордон. Но и этот гидропост имеет пропуски в наблюдениях (1958, 2003-2012 и 2014 гг.). Поэтому сначала необходимо было восстановить сток р.Кегеты, подобрать для неё аналог. По гидрологическим параметрам наиболее подходит р.Чон-Каинды (таблица. 3.6, рисунок 3.4).

Для восстановления стока р.Шамси в качестве аналога подошла река Кегеты, а для р.Иссык-Ата – р. Аламедин (таблица 3.7, рисунок 3.5).

Пропуски данных среднегодовых расходов воды рек Ак-Суу и Кара-Балта были восстановлены по данным р.Сокулук, рек Джарлы-Каинды и Аспара по данным наблюдений р. Чон-Каинды (таблица 3.8, рисунки 3.6, 3.7).

Таблица 3.5. Характеристика левобережных притоков р. Чу.

Река - пункт наблюдений	Площадь водосб., км²	Средневзв. высота, М	Степень оледенения,%	Показат. типа питания δ	Тип питания реки	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
Кызыл-Суу, с. Бакбулак	171	2500	2,0	1,31	ледник.-снеговое	Закрыт в 1995
Шамси – лесной кордон	457	2940	1.0	1.74	-- // --	Закрыт в 1997

Кегеты – лесной кордон	256	2900	4,0	1,92	- // -	
Иссык-Ата – с.Юрьевка	546	3030	10	2,40	-- // --	Закрыт в 1984
Аламедин– устье р.Чункурчак	317	3260	15	2,70	- // -	
Чункурчак-устье	97,0	2360	<1,0	1,59	- // -	Закрыт в 1965
Алаарча- 0,8 км выше устья р.Адыгине	140	3580	40	2,89	- // -	Закрыт в 1990
Алаарча – устье р.Кашка-Суу	233	3290	17	2,24	- // -	
Джеламыш клх. им. Чапаева	153	2650	4,0	1,29	- // -	Закрыт в 1999
Ак-Суу – с.Чон-Арык	426	3060	7,0	1,74	- // -	Закрыт в 2003
Сокулук–с. Белогорка	353	3110	12	2,16	- // -	
Кара-Балта-с.Сосновка	577	2910	< 1,0	1,30	- // -	Закрыт в 2006
Чон – Кайинды- с.Чон-Кайинды	167	3040	6,0	1,62	-- // --	
Джарды-Каинды-с. Ортоарык	185	3000	2,0	1,70	-- // --	Закрыт в 1993
Аспара-пгт. Гранитогорск	430	2910	0	1,56	-- // --	Закрыт в 1976

Таблица 3.6. Характеристики рек Кызыл-Суу, Кегеты и Чон-Каинды

Река	F,км^2	H, м	Qср.год.	δ	φ	Олед.%	Коэф.корел.
Кызыл-Суу	171	2500	1.46	1,31	0.76	2,0	0,67
Кегеты	253	2900	2.42	1,92	0.62	4,0	0,78
Чон-Каинды (аналог)	167	3040	2.02	1,62	0.63	6,0	

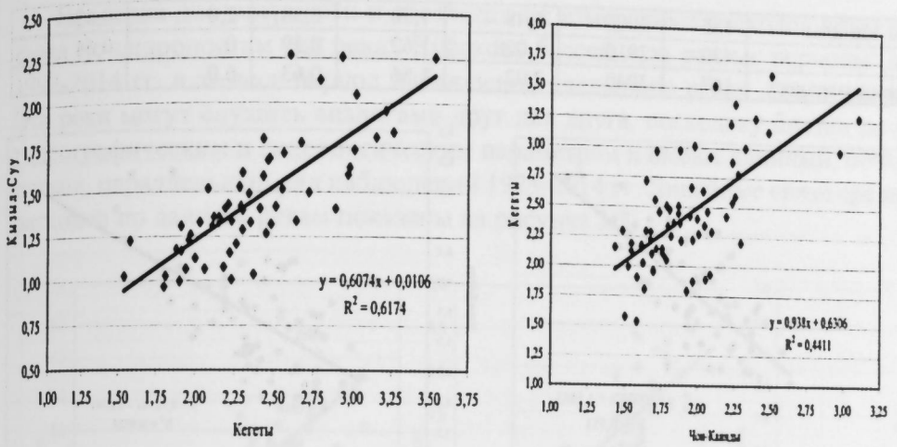


Рис. 3.4. Связь расходов воды Кызыл-Суу, Кегеты и Чон-Каинды

Таблица 3.7. Характеристики рек Шамси, Кегеты, Иссык-Ата и Аламелин

Река	F,км^2	H, м	Qср.год.	δ	φ	Оледен. %	Коэфф. корреляции
Шамси	457	2940	5,09	1,27	0,65	1,0	0,82
Кегеты (аналог)	253	2900	2,42	1,92	0,62	4,0	
Иссык-Ата	546	3030	7,07	2,40	0,70	10	0,72
Аламедин (аналог)	317	3260	6,55	2,70	0,60	15	

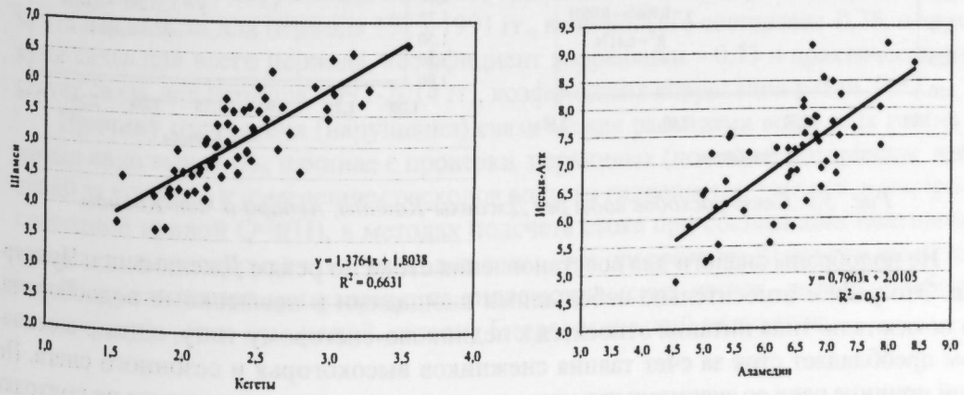


Рис. 3.5. Связь расходов воды рек Шамси и Кегеты, Иссык-Ата и Аламедин

Таблица 3.8. Характеристики рек Ак-Суу, Кара-Балты, Аспара Джарлы-и Чон-Каинды

Река	F,км^2	H, м	Qср.год.	δ	φ	Олед.%	Коэф..кор.
Ак-Суу	426	3060	4,90	1,74	0,64	7,0	0,75
Кара-Балты	353	3110	5,42	2,16	0,61	12	0,63
Сокулук-аналог	577	2910	5,32	1,30	0,66	1,0	

Джарлы-Каинды	185	3000	1,48	1,70	0,58	2,0	0,65
Аспара	430	2910	3,028	1,62	0,59	0	0,64
Чон-Каинды-аналог	167	3040	2,02	1,56	0,63	6,0	

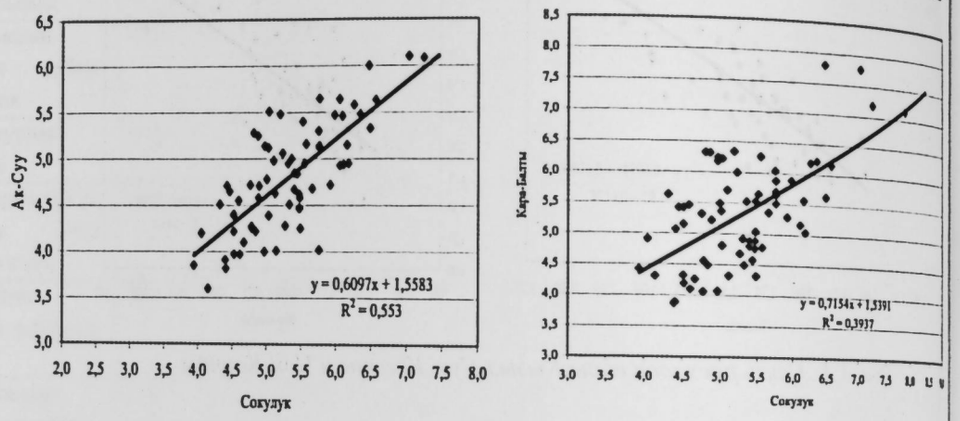


Рис. 3.6. Связь расходов воды рек Ак-Суу, Кара-Балты и Сокулук

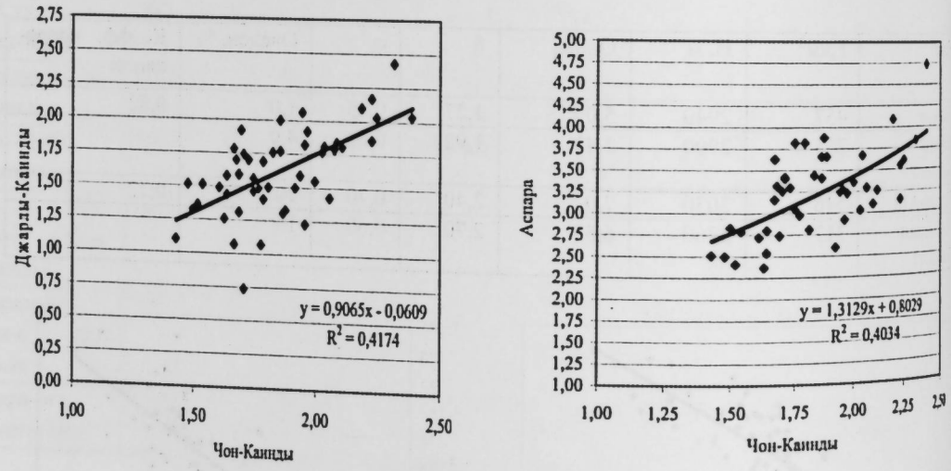


Рис. 3.7. Связь расходов воды рек Джарлы-Каинды, Аспара и Чон-Каинды

Не подобраны аналоги для восстановления стока по рекам Джеламыш и Чункурчак. Это реки с относительно небольшими площадями и невысокими водосборами по показателю типа питания относятся к ледниково-снеговому типу, однако в основном преобладает сток за счет таяния снежников высокогорья и сезонного снега. По этой причине реки со значительным оледенением в качестве аналогов им не подходят (таблица 3.9) .

Таблица 3.9. Характеристика рек Чункурчак и Джеламыш

Река	F,км²	H, м	$Q_{ср.год.}$	δ	φ	Оледен. %
Чункурчак	97,0	2360	0,78	1,58	0,76	<1,0
Джеламыш	153	2650	1,33	1,28	0,78	4,0

Проверка достоверности и соответствия измеренных расходов воды и подсчета стока по гидропостам на реках Чуйского бассейна за разные периоды: до 1992 г., 1992-2014 гг. и за весь период наблюдений сделана по рекам Аламедин и Алаарча. Эти реки могут служить аналогами друг для друга, поскольку близки по основным гидрографическим и гидрологическим параметрам и имеют длинный, почти без пропусков, параллельный ряд наблюдений 1929-2014 гг. Линейные связи среднегодовых расходов по данным рекам показаны на рисунке 3.8.

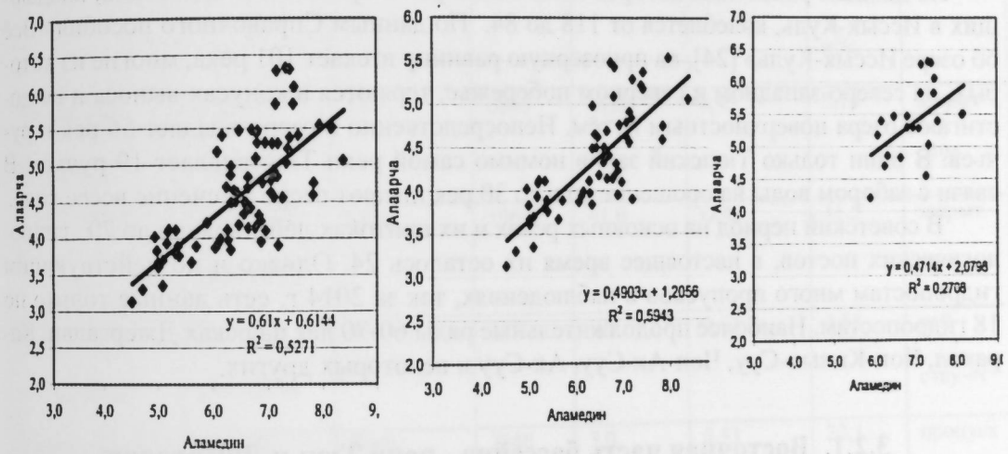


Рис. 3.8. Связь среднегодовых расходов воды рек Аламедин и Алаарча за:

1 – весь период 1929-2014 гг. 2 – период 1929-1991 гг. 3 – период 1992-2014 гг.

Коэффициент корреляции наиболее значимый и указывает на тесную связь аргумента и функции для периода 1929-1991 гг., величина его составляет 0,78, несколько хуже связь для всего периода, коэффициент корреляции – 0,73 и практически отсутствует связь для периода 1992-2014 гг., коэффициент корреляции равен 0,52.

Причину отсутствия (нарушения) связи между расходами воды этих рек на наш взгляд надо выяснять, начиная с проверки первичных (полевых) материалов наблюдений за уровнем и измерением расходов воды на гидропостах этих рек, в построении ежегодной кривой Q=f(H), в методах подсчета стока при составлении ежегодника и вычислении среднесуточных расходов воды. Это прерогатива Кыргызгидромета, который осуществляет мониторинг на гидрометрических постах, делает обработку и анализ результатов измерений, готовит Гидрологический ежегодник.

3.2. Иссык-Кульский бассейн

Вытянутый с запада на восток Иссык-Кульский бассейн ограничен горными хребтами – на юге Тескей Ала-Тоо, имеет наибольшую высоту 5216 м (пик Каракол) в верховьях рек Каракол и Джеты-Огуз, к западу высота хребта снижается до 3500 м, а к востоку – до 4500 м. Относительное превышение хребта над озером в среднем 3000 м. С севера окружает хребет Кунгей Ала-Тоо, максимальная высота 4771 м. (пик Чоктал), к западу и востоку высота хребта понижается до 3000 м.

На западе Иссык-Кульский бассейн сообщается с Чуйской долиной через Боомское ущелье, а на востоке – через перевал Сан-Таш, высотой 400 м. над уровнем озера имеет выход в Казахстан.

Площадь бассейна озера Иссык-Куль составляет 22080 км^2, из которых на озеро приходится 6247 км^2, на предгорную равнину, являющуюся зоной рассеивания речного стока - 3092 км^2, остальную часть бассейна (12741 км^2) занимают горные районы, являющиеся зоной формирования стока рек.

По данным различных авторов количество рек и временных водотоков, впадающих в Иссык-Куль, колеблется от 118 до 84. По данным Справочного пособия «Всё об озере Иссык-Куль» [24], на приозерную равнину втекает 101 река, многие из которых, на северо-западном и северном побережье, теряются в конусах выноса и не достигают озера поверхностным путём. Непосредственно в озеро впадает 56 рек и ручьев. В один только Тюпский залив помимо самой реки Тюп впадает 19 ручьев. В связи с забором воды на орошение только 30 рек питают озеро в течение всего года.

В советский период на основных реках и их притоках действовало до 70 гидрологических постов, в настоящее время их осталось 24. Однако и по действующим гидропостам много пропусков в наблюдениях, так за 2014 г. есть данные только по 18 гидропостам. Наиболее продолжительные ряды 60-70 лет на реках Джергалан, Каракол, Чон-Кызыл-Суу, Чон-Ак-Суу, Ак-Суу и некоторых других.

3.2.1. Восточная часть бассейна - реки Тюп и Джергалан

В наиболее увлажненной и возвышенной части бассейна формируют сток самые крупные реки - Джергалан и Тюп со среднегодовыми расходами воды 22,6 и 11,5 м^3/с. соответственно. На суммарный сток этих двух рек равного в среднем 34,1 м^3/с приходится 28% проверхностного притока в озеро (приходной части водного баланса озера). Данные гидрологических наблюдений по этим рекам, безусловно, важны и необходимы для расчета водного баланса озера. На данных реках гидрологические посты действовали в верхнем и нижнем тении: на р.Тюп гидропосты "с.Сарытологой" – верхнее течение, "с.Тюп" – нижнее; на р.Джергалан верхний гидропост "с.Советское" и нижний – "с.Михайловка". В таблице 3.10 приведены основные параметры рек и их бассейнов в створе гидропостов.

Пропуски в наблюдениях по р.Тюп–с.Тюп восстановлены по графику связи со среднегодовыми расходами по р.Джергалан -с.Михайловка, сток которй в свою очередь был восстановлен по связи с данными по г/посту "с.Советское". По р.Тюп-гидропосту "с.Сарытологой" сток восстановлен также по связи с данными гидропоста "с.Советское" (рисунки 3.9, 3.10).

Озеро Иссык-Куль, имеющее замкнутое внутригорное положение, отражает изменения всех факторов формирования его водного баланса. Озеро является индикатором, реагирующим на изменения составляющих водного баланса природного характера – стока рек, атмосферных осадков, подземных вод, испарения с акватории озера, и антропогенного – заборы воды на орошение, безвозвратные потери (испарение с полей орошения), что находит отражение в изменение уровня озера за рассматриваемый период (год, несколько лет).

Таблица 3.10. Гидрографические и гидрологические характеристики рек Тюп и Джергалан.

Река–пункт наблюдений	Период наблюдений	Площ. водосбора, км^2	Средн. взвеш. высота, М	Степень оледенения, %	Показат. типа питания, δ	Сред. годов., расход, м^3/с	Примечание
Тюп-с.Сарытологой	1932-35, 1939-1993	513	2800	>1,0	0,45	8,14	закрыт 1994
Тюп – с.Тюп	1943-1993, 1996,1997	1130	1960	<1,0	О,42	11,5	закрыт 1998
Джергалан – с.Советское	1931-35, 1937-2014	250	2970	1,0	0,62	4,83	дей-ству-ет
Джергалан – с.Михайловка	1937-39, 1941-2003, 2005-2010	2060	2840	5,0	0,53	22,1	пропуск наблю-дений

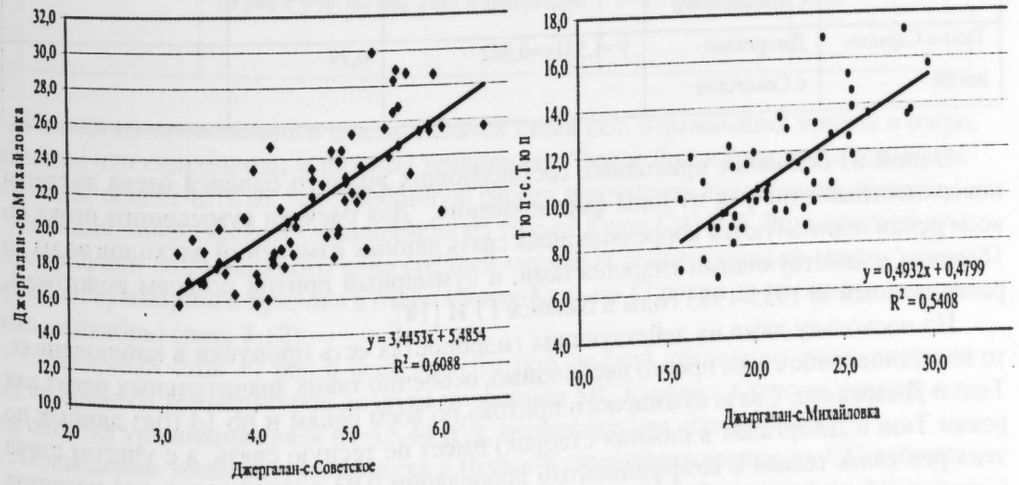


Рис. 3.9. Связь расходов воды по рекам Тюп и Джергалан

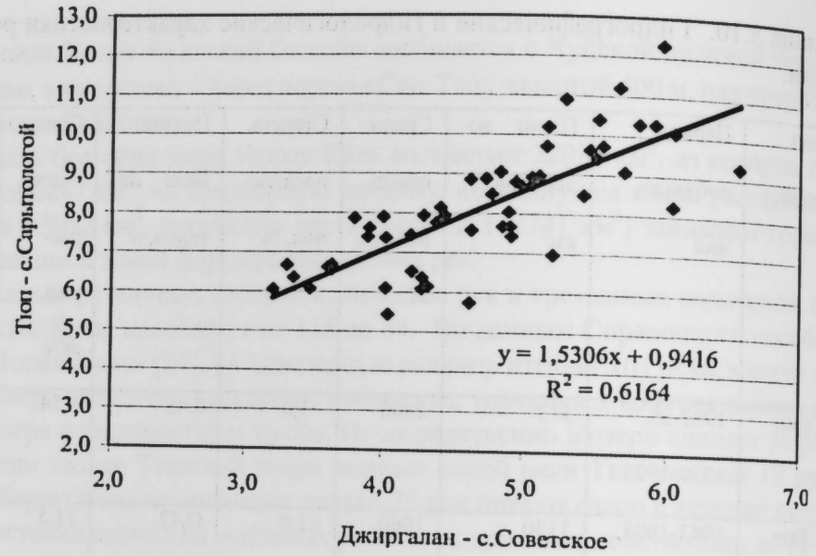


Рис. 3.10. Связь расходов воды рек Тюп и Джергалан (верхние гидропосты)

В таблице 3.11 приведены результаты корреляционной связи этих рек.

Таблица 3.11. Корреляционная связь рек Джергалан и Тюп (рис. 3.9, 3.10).

Река	Река-аналог	Уравнение связи	Коэфф. корреляции	Погрешность расчета, м³/с
Джергалан-с.Михайловка	Джергалан-с.Советское	У=3,484х+5,214	0,78	-0,1
Тюп-с.Тюп	Джергалан-с.Михайловка	У=0,489х+0,48	0,75	0,5
Тюп-с.Сарытологой	Джергалан-с.Советское	У=1,531х+0,942	0,79	

Одной из основных приходных составляющих водного баланса озера является поверхностный сток рек из зоны формирования. Для расчета суммарного стока по всем рекам используются корреляционная связь данных измерений расходов воды по 16 рекам с действующими гидропостами, и суммарный приток по всем водотокам, рассчитанный за 1935-1983 годы в балансе ГГИ [14].

Но поскольку даже на действующих гидропостах есть пропуски в наблюдениях, то восстановление стока просто необходимо, особенно таких значительных реках как Тюп и Джергалан. Связь суммарного притока по всем рекам и по 14 (без данных по рекам Тюп и Джергалан в нижних створах) имеет не тесную связь, а с учетом стока этих рек связь тесная с коэффициентом корреляции 0,93 и приемлема для расчетов (восстановления) суммарного поверхностного притока за каждый год (рис.3.11, табл.3.12).

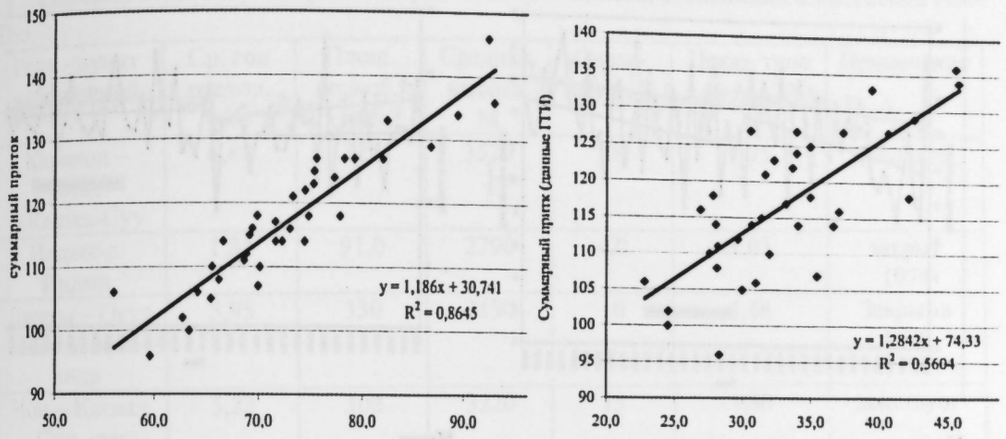


Рис. 3.11. Расчет (восстановление) суммарного притока в озеро Иссык-Куль (левый- с учетом рек Тюп и Джергалан; правый – без учета стока этих рек).

Таблица 3.12. Уравнения регрессии и коэффициенты корреляции, характеризующие связи для восстановления суммарного притока в озеро.(рис.3.11).

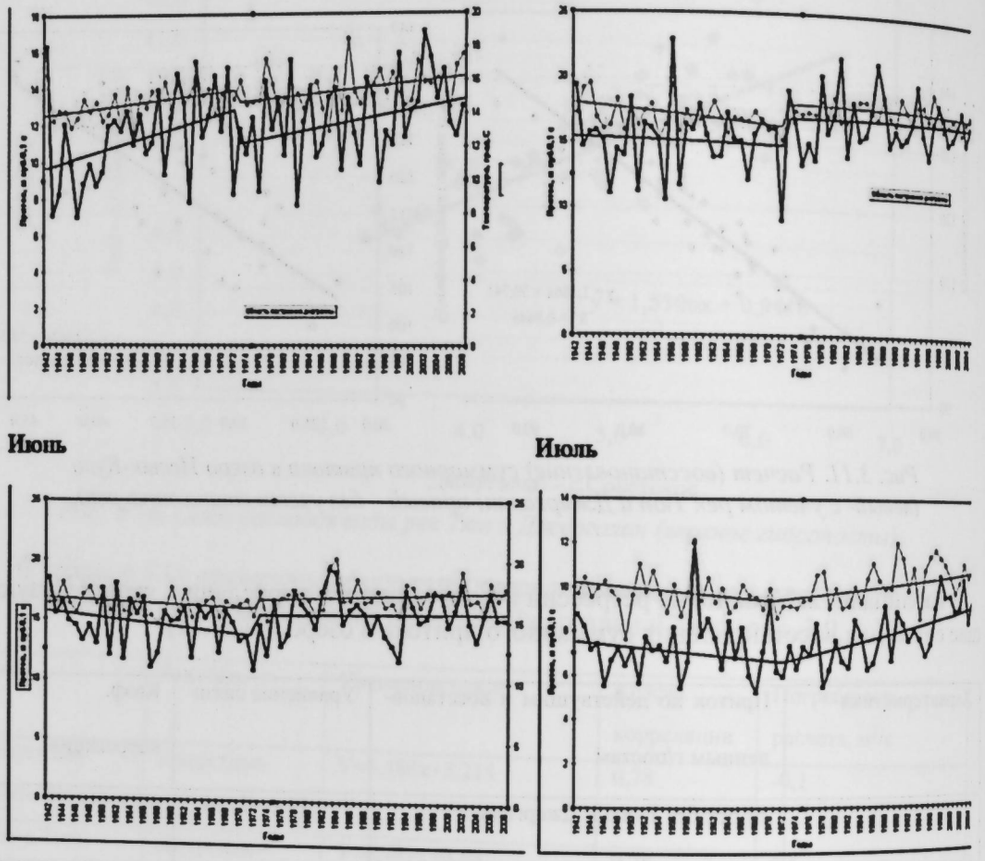
Характеристика	Приток по действующим и восстановленным г/постам	Уравнение связи	Коэф. корреляции
Суммарный приток	14 рек без Тюпа и Джергалана	У=1,284х+74,33	0,75
	16 рек с учетом рек Тюп и Джергалан	У=1,186х+30,74	0,93

Исходя из проведенного анализа связей стока рек, отражающих приток в озеро, очевидно, что гидропосты в нижнем течении рек Тюп и Джергалан необходимо восстановить, обеспечить их бесперебойную работу и повысить качество измерений.

В энциклопедическом Справочнике по Иссык-Кулю [24] В.В. Романовский приводит графики совмещенного хода средней месячной температуры по метеостанции Каракол и суммарного притока в озеро Иссык-Куль по 17 рекам за месяцы половодья (июнь-сентябрь) (рис. 3.12).

Суммарный сток 17 рек и всех рек Иссык-Кульской котловины тесно коррелирует со средней температурой воздуха по данным МС Каракол. Средняя квадратическая ошибка уравнения связи m=±5,44 м³/с, относительная ошибка – 8,42%.

Повышение температуры воздуха в Иссык-Кульской котловине на 1^0С даёт увеличение речного стока на 8,6 м³/с и, как следствие, подъём уровня озера на 44 мм/год (в пересчете на площадь) [24].



Июнь

Июль

Август

Сентябрь

Рис. 3.12. Приток 17 рек Иссык-Кульской котловины (Q-верхняя линия тренда) и температура воздуха по МС Каракол (Т -нижняя линия) в июне, июле, августе и сентябре

При отсутствии гидрологических данных наблюдений по стоку на реках бассейна, или дальнейшего сокращения сети наблюдений, уравнение связи можно использовать для расчета суммарного притока в озеро Иссык-Куль при составлении водного баланса.

3.2.2. Группа – реки, стекающие с северного склона хр. Тескей-Ала-Тоо

Реки данного участка берут начало с высокогорной зоны хребта и имеют значительное оледенение и ледниково-снеговое питание (таблица 3.13)

Связи расходов воды этих рек за разные периоды наблюдений имеют коэффициенты корреляции в первом случае 0,21, во 2-м – 0,64, в 3-ем – 0,34. Причина нарушения связи между расходами этих рек на наш взгляд заключается, прежде всего, в снижении качества измерений расходов воды, отсутствие контроля, слабая подготовка кадров.

Таблица 3.13. Характеристика рек и их бассейнов, стекающих с хр.Тескей Ала-Тоо

Река - пункт наблюдений	Ср. год расход, $м^3/с$	Площ. водосб., $км^2$	Средняя. высота, М	Оледенение, %	Показ. типа питан,. δ	Примечание
Каракол – устье р.Кашка-Суу	6,80	325	3520	18	1,95	действует
Ирдык-с. Ирдык	1,33	91,0	2790	4,0	1,03	закрыт 1974
Джеты – Огуз - пос.лесозавода	5,95	330	3130	10	1,68	Закрыт в 1999
Чон – Кызыл – Суу –лесной кордон	5,23	302	3220	. 15	1,80	действует
Кичине–Кызыл-Суу – с.Покровка	1,30	103	2930	4,0	1,26	действует
Джууку – устье р.Джуукучак	6,69	516	3290	10	2,89	действует
Актерек-с.Актерек	0,86	43,0	3650	16	2,87	закрыт1981
Кичи-Джаргылчак-с.Чон-Джаргылчак	1,21	107	3190	8,0	2,18	закрыт1979
Чон-Джаргылчак-с.лесозавод	2,46	128	3520	10	2,32	действует
Барскоон–устье р.Сасык.	4,20	346	3480	10	2,37	действует
Тамга – с.Тамга	1,14	135	3170	4,0	1,78	закрыт1994
Тоссор – устье р.Кодол	2,27	295	3200	7,0	1,94	повреждён
Тон – с.Туура-Суу	2,35	244	3350	12	2,39	закрыт2003
Ак-Сай – с.Коксай	3,23	346	3170	13	2,58	повреждён
Ак-Терек*– с.Кызыл-Туу	3,65	596	2610	4,0	1,23	сток искажен водозабором
Турасу - с. Улахол	3,11	565	2930	< 1,0	1,40	закрыт 1996

Реки данной группы имеют оледенение, показатель типа питания δ (отношение объёма стока за VII-IX месяцы к объёму стока за III-VI месяцы) больше единицы (от 1,03 до 2,89). Наиболее значительные из рек этой группы Каракол, Джеты-Огуз, Джууку, Чон-Кызыл-Суу, Барскоон, бассейны которых имеют значительное оледенение (10% и более). Действующие гидропосты остались только на пяти реках, но и по ним наблюдения имеют пропуски, а измеренные расходы воды вызывают большие сомнения в плане достоверности. И в наибольшей степени это относится к данным измеренных расходов в период после 1991 г. Особенно это видно на графиках связи при подборе аналогов. Если взять параллельный ряд наблюдений по рекам до 1991 г., то по большинству рек связи тесные, с высоким коэффициентом корреляции. Связи по этим же рекам за весь период наблюдений, включая 1992-2014 гг., не тесные или вообще отсутствуют. В качестве примера приведены связи среднегодовых расходов воды по рекам Чон-Кызыл-Суу – аналог и Кичине-Кызыл-Суу за весь период, до 1992 г. и 1992-2014гг. (рисунок 3.14).

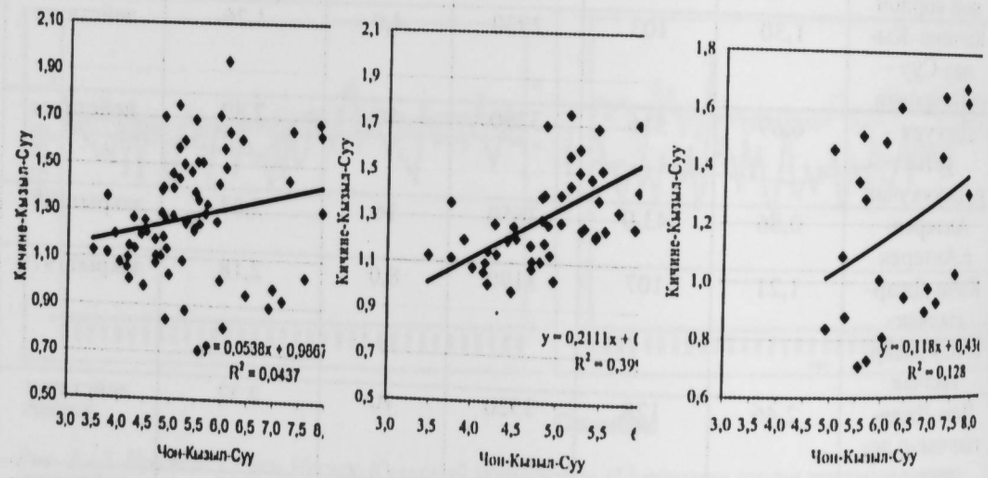


Рис. 3.14. Связь средних годовых расходов воды рек Чон- и Кичине-Кызыл-Суу в периоды:

1942-2014 гг. *1942-1991 гг.* *1992-2014 гг.*

Для восстановления средних годовых расходов по рекам этого участка – Тон, Джеты-Огуз, Тоссор, Турасу в качестве аналогов можно использовать данные рек Каракол, Джууку, Чон-Кызыл-Суу, но с учётом периода наблюдений. Наиболее тесные и достоверные связи за период наблюдений до 1992 г. В качестве подтверждения приведены два графика связи расходов воды по рекам Джууку и Чон-Кызыл-Суу за весь период (1 график), и без учета данных отклонившихся точек после 1992 г. это - 1994, 1996, 2003-2006 годы. (2 график, рисунок 3.15). По первой связи коэффициент корреляции 0,66, по второй - 0,74.

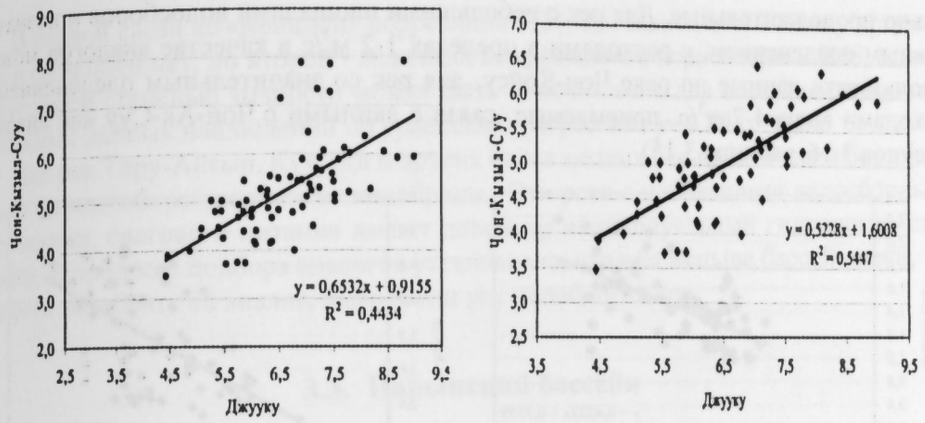


Рис. 3.15. Связь расходов воды рек Джууку и Чон-Кызыл-Суу за:

весь период 1942-2014 гг. *период до 1992 г.*

3.2.3. Реки, стекающие с южного склона хребта Кунгей-Ала-Тоо

Гидрографические характеристики рек и их бассейнов представлены в табл. 3.14.

Таблица 3.14. Характеристика рек, стекающих с южного склона Кунгей- Ала-Тоо

Река - пункт наблюдений	Ср. год Расход $м^3/с$	Площ. водосб. $км^2$	Средняя. высота, М	Оледенение. %	Показ. тип пит. δ	Примечание
Тору-Айгыр – устье р.Кызыл-Булак	0,66	146	2610	0	0,74	Действует
Чон-Кой-Суу – с. Сары-Ой	1,46	770	3470	10	1,62	-- // --
Чолпон-Ата – свх. Чолпон-Ата	1,38	111	3300	10	1,60	-- // --
Чон-Ак-Суу- с.Григорьевка	5,30	309	3410	21	1,94	-- // --
Ак-Суу – с.Семеновка	3,44	192	3010	5,0	1,22	-- // --
Чон – Орюкты - свх. Коневодческий	1,47	78,7	2960	0	0,87	-- // --
Ой-Тал – с.Ой-Тал	0,66	37,9	2830	0	0,67	-- // --

По данным табл. 3.14 видно, что гидрологические посты на всех представленных реках действующие, но при этом почти по всем есть пропуски в наблюдениях и до-

вольно продолжительные. Для рек с небольшими площадями водосборов и незначительным оледенением, с расходами в пределах 1-2 м^3/с в качестве аналогов можно использовать данные по реке Чон-Койсу, для рек со значительным оледенением и расходами воды 4-7 м^3/с приемлемые связи с данными р.Чон-Ак-Суу как аналога (рисунок.3.16, таблица 3.15).

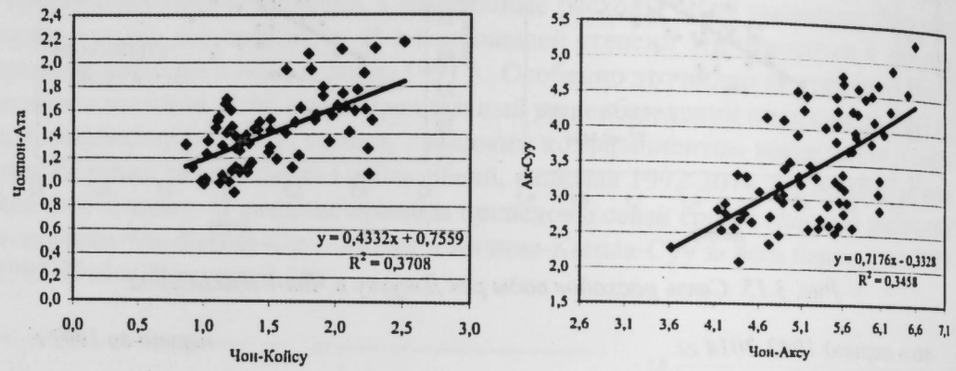


Рис. 3.16. Связь расходов воды рек северного побережья

Таблица 3.15. Подбор рек аналогов для рек северного побережья.

Река	Река-аналог	Уравнение связи	Коэф. корреляции
Чолпон-Ата	Чон-Койсу	y=0,433x+0,756	0,61
Ак-Суу	Чон-Ак-Суу	y=0,718x+0,333	0,60

Как и в предыдущей группе рек сомнения вызывают данные наблюдений в период после 1992 г. В качестве примера и для сравнения приведены две линейные связи по рекам Чон-Урюкты (аналог) и реке Ойтал за весь период наблюдений (рисунок 3.17, график 1) и за период до 1992 г. (график 2).

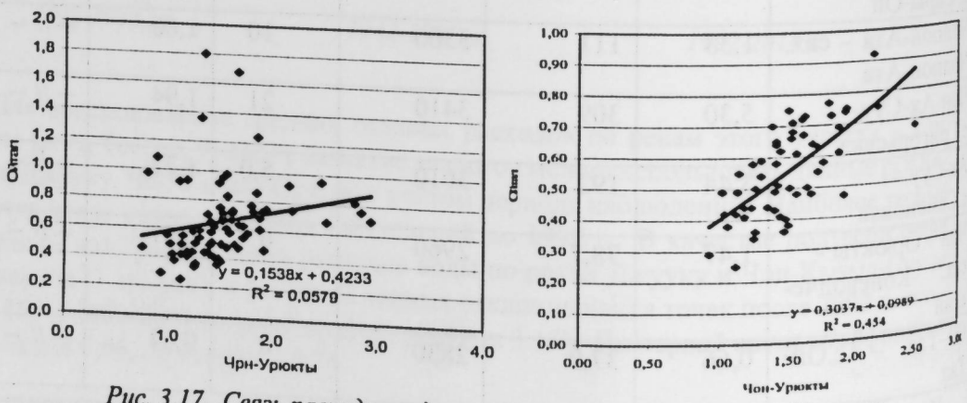


Рис. 3.17. Связь расходов воды рек Чон-Урюкты (аналог) и Ойтал за весь период параллельных наблюдений *параллельный период до 1992 г.*

В первой связи коэффициент корреляции 0,24, т.е. зависимости между аргументом и функцией нет, по второй - величина коэффициента корреляции – 0,68, и она с допустимой степенью точности может быть использована для восстановления пропущенных данных наблюдений по уравнению регрессии ***y=0,304x+0,10.***

Для рек Тору-Айгыр, Кутурга и других более мелких рек практически без оледенения на водосборе аналоги не подобраны. Эти реки с небольшими водосборными площадями, снегового питания имеют довольно индивидуальный гидрологический режим. В процессе подбора аналогов установлено, что чем меньше бассейн реки, тем труднее подобрать ей аналог, даже среди рек подобного типа.

3.3. Нарынский бассейн

Занимает Внутреннюю часть Тянь-Шаня, имеет наиболее расчлененный рельеф, представленный межгорными котловинами, разделенными хребтами. В советский период на р.Нарын и её основных притоках действовало до 89 гидропостов в настоящее время их осталось 8. Но и по действующим гидропостам много пропусков в наблюдениях, так в 2014 г. данные есть только по пяти. Наиболее длинные ряды наблюдений с 1931 г.. по гидропосту р.Нарын-г.Нарын и по р.Узунахмат. Был на р.Нарын гидропост «с.Алексеевка», который действовал с 1933 (данные за весь год с 1942 по 1973 г.) до строительства Токтогульского водохранилища. Этот гидропост фиксировал суммарный приток в водохранилище, был расположении ниже впадения рек Узунахмат, Чичкан и Торкент, которые с 1974г. впадают непосредственно в водохранилище.

3.3.1. Участок от слияния рек Чон-Нарын и Кичи-Нарын до г.Нарын

Гидрологические посты на реках Чон-Нарын, Кичи-Нарын и Нарын-г.Нарын имеют довольно продолжительный параллельный ряд наблюдений с 1940-2014 гг.

На составляющих реки Нарын - Чон- и Кичи-Нарыне ряды наблюдений имеют пропуски, которые с допустимой степенью точности можно восстановить по связи с расходами воды по гидропосту «г.Нарын». Однако проведенный анализ стока между этими тремя г/постами свидетельствуют о ненадежности данных наблюдений и, особенно, в период 1991-2014 гг.

Анализ стока р.Нарын по длине реки от слияния рек Чон- и Кичи-Нарын до гидропоста «г.Нарын» показал следующее. По данным наблюдений за 1940-2014 гг. средний годовой расход воды по г/посту «г.Нарын» равен 92,7 м^3/с, суммарный сток рек Чон- и Кичи- Нарын - 88,1 м.куб/с, разность 4,6 м.куб/с (разность максимального расхода также 4,6 м.куб/с, минимального - 2,8 м.куб/с). Расход увеличивается за счет впадения на этом участке небольших притоков (Каинды и др.). Однако, если посмотреть на график разности расходов воды между г/постом «г.Нарын» и суммарного по его составляющим, то ее величина колеблется в отдельные годы от -15 до +30 м^3/с (рисунок 3.18). Чем это можно объяснить? По результатам анализа сделан вывод - только не точностью измерений расходов воды на г/постах Чон- и Кичи-Нарын. Осо-

бенно значительные расхождения приходятся на период 1991-2014 гг. Это подтверждает тот факт, что не проводится анализ подсчета стока и тем более его увязку по длине реки, то, что называется русловым балансом.

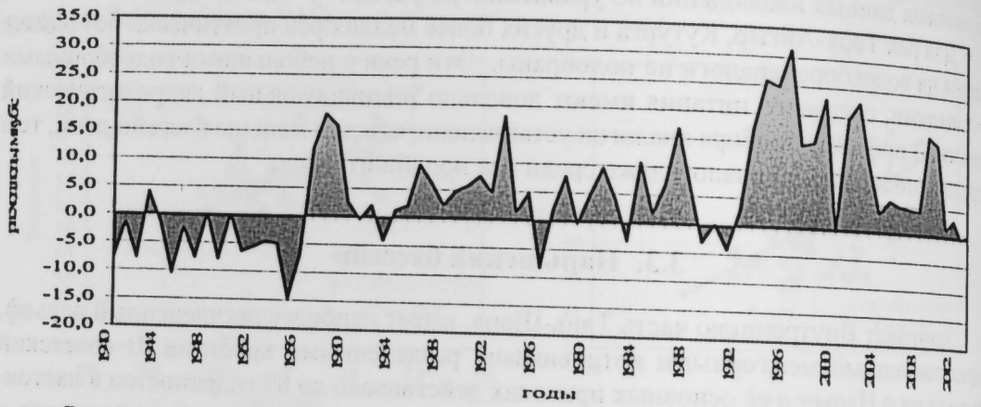


Рис. 3.18. Разность расходов воды р.Нарын-г.Нарын и суммарного расхода рек Чон- и Кичи-Нарын за период 1940-2014 гг.

Подтвердить сомнения низкой точности измеренных расходов воды на реках Чон- и Кичи-Нарын можно по трендам среднегодовых расходов этих рек за параллельный ряд наблюдений (рисунок 3.19).

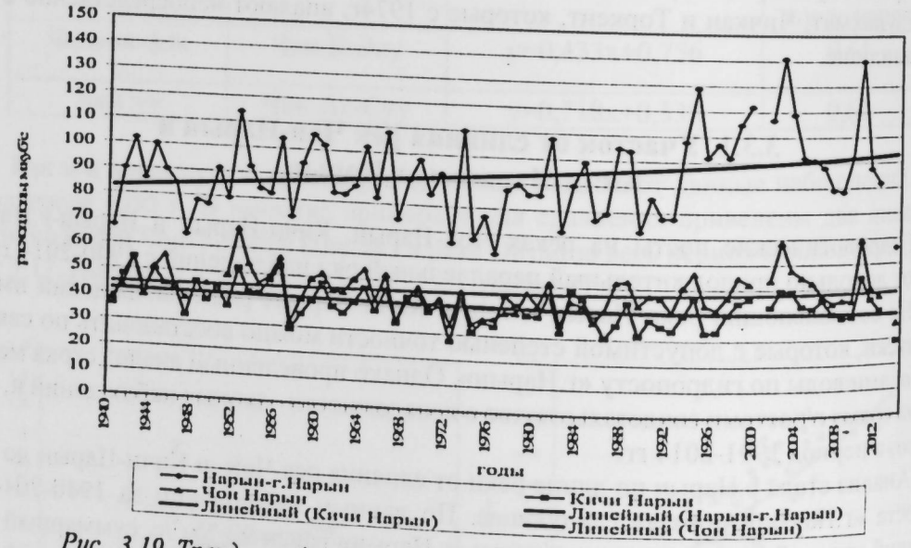


Рис.. 3.19. Тренды средних годовых расходов воды рек Нарын-г.Нарын, Чон- и Кичи-Нарын. за период 1940-2014 гг.

По анализу трендов среднегодовых расходов сток р.Нарын – г.Нарын увеличился на 20 м^3/с, Чон-Нарына на 4,0 м^3/с, а сток р.Кичи-Нарын – имеет отрицательный тренд (уменьшился на 2,0 м^3/с). Это не соответствует современной реакции стока рек ледниково-снегового питания (с оледенением более 4-5%) на изменение (потепление) климата, тем более, если брать во внимание степень оледенения бассейна р.Кичи-Нарын, которая составляет 8,9%.

Исходя из результатов полученного анализа можно рекомендовать - г/посты на реках Чон- и Кичи-Нарын закрыть, но при этом усовершенствовать и оснастить современными измерительными приборами и подготовленными кадрами г/пост «г.Нарын» и использовать его как аналог для восстановления и расчета расходов воды рек Чон- и Кичи-Нарын по полученным регрессионным связям. Пропуски в наблюдениях по рекам Чон- и Кичи-Нарына были восстановлены по графикам связи с г/постом «г.Нарын» (рисунок 3.20).

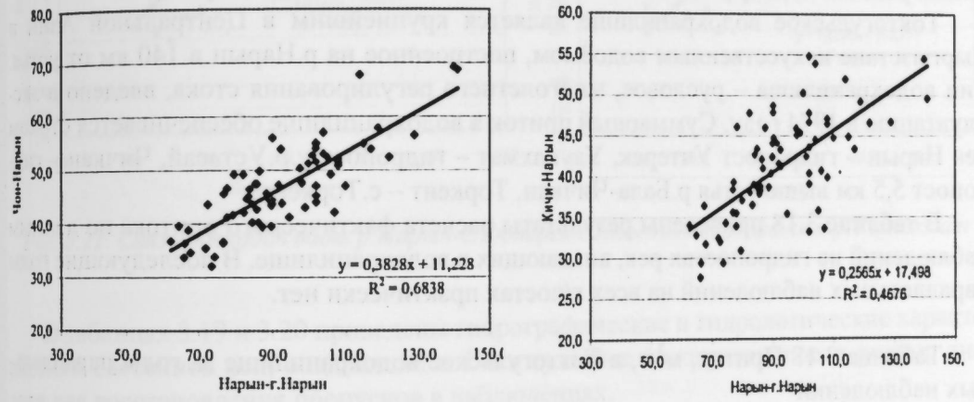


Рис. 3.20. Связь средних годовых расходов воды р.Нарын-г.Нарын и р.Чон-Нарын р.Кичи-Нарын

В таблице 3.16 приведены гидрографические характеристик р.Нарын в рассматриваемых гидрологических створах, а в таблице 3.17 подбор реки-аналога для рек и Чон- и Кичи-Нарын.

Таблица 3.16 Гидрографические и гидрологические характеристики рек.

Река, гидропост	F,км^2	H, м	$Q_{ср.год.}$	δ	Ф	Оледен. %	Тип питанмя
Нарын-г.Нарын	10500	3570	92,7	1,37	0,62	9,2	ледниково-снеговое
Чон-Нарын-устье	5740	3720	46,8	1,21	0,64	10,8	--//--
Кичи-Нарын-устье	3870	3500	41,3	1,54	0,61	8,9	--//--
Суммарно	9610	3660	88,1	1,38		9,8	--//--

Таблица 3.17. Уравнения связи для рек Чон- и Кичи-Нарын.

Река-	Уравнение регрессии	Коэф. корел.
Нарын-г.Нарын	Аналог	
Чон-Нарын	У=0,383х+11,2	0,83
Кичи-Нарын	У=0,256х+17,5	0,68
Суммарный Чон- и Кичи-Нарын	У=0,646х+27,9	0,82

3.3.2 Участок реки от гидропоста «г.Нарын» до гидропоста «с. Учтерек» и приток в Токтогульское водохранилище

На этом участке в р.Нарын впадает много крупных притоков - Кёкджерты, Атбаши, Кёкёмерен, Алабуга и другие средние и небольшие, на которых в прошлом действовали гидрологические посты, но впоследствии были закрыты. В настоящее время на этом участке с 1964 г. действует только один г/пост «с.Учтерек», входной в Токтогульское водохранилище.

Токтогульское водохранилище является крупнейшим в Центральной Азии и Кыргызстане искусственным водоёмом, построенное на р.Нарын в 140 км от устья. Тип водохранилища – русловое, многолетнего регулирования стока, введено в эксплуатацию в 1974 году. Суммарный приток в водохранилище обеспечивается стоком рек Нарын – гидропост Учтерек, Узунахмат – гидропост у.р.Устасай, Чичкан – гидропост 5,5 км выше устья р.Бала-Чичкан, Торкент – с.Торкент.

В таблице 3.18 приведены результаты расчета фактического притока по данным наблюдений на гидропостах рек, впадающих в водохранилище. В последующие годы параллельных наблюдений на всех г/постах практически нет.

Таблица 3.18 Приток, $м^3/с$, в Токтогульское водохранилище за годы параллельных наблюдений

№	Год	Нарын	Узунахмат	Чичкан	Торкент	сумма
1	1976	244	21,1	15,8	12,4	293
2	1977	294	21,3	12,7	12,3	340
3	1978	316	27,0	15,4	7,83	366
4	1979	343	28,5	15,2	5,71	392
5	1980	289	25,6	11,6	7,26	333
6	1981	322	32,9	14,2	8,69	378
7	1982	228	22,1	11,3	10,0	271
8	1983	302	27,6	12,2	7,24	349
9	1984	284	32,1	17,6	11,6	345
10	1985	278	23,4	14,4	9,92	326
11	1986	253	23,2	14,1	5,81	296
12	1987	404	37,1	21,1	12,2	474
сумма		3557	322	176	111	4165
сред		296	26,8	14,6	9,2	347
%		85	7,7	4,2	2,7	100

Средний годовой приток в водохранилище за эти годы составил 347 $м^3/с$, в процентном соотношении 85% приходится на р.Нарын, 7.7% на р.Узунахмат, 4.2 – на р.Чичкан и 2.7 – на р.Торкент. Расчетным периодом для восстановления отсутствующих данных по рекам, обеспечивающим приток в водохранилище, был взят период с 1964 по 2014 гг. – 52 года. В качестве аналогов с длинным рядом наблюдений использованы данные по гидропосту р.Нарын –«г.Нарын» и по р.Узунахмат (рисунок 3.21) [4,25,26].

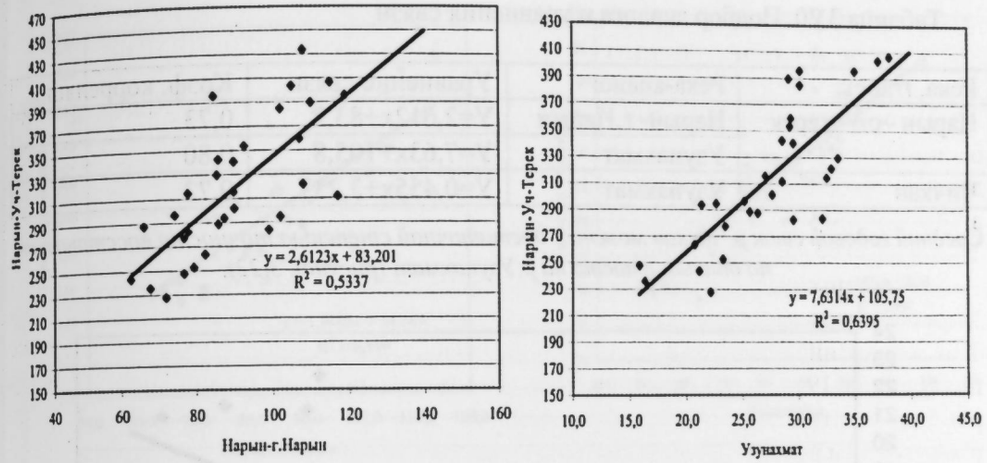


Рис. 3.21. Связь расходов воды р.Нарын-с.Учтерек с г/постом «г.Нарын» и р.Узунахмат

В таблицах 3.19 и 3.20 приведены гидрографические и гидрологические характеристики бассейнов рек, впадающих в Токтогульское водохранилище и подбор аналога для восстановления пропусков в наблюдениях.

Таблица 3.19. Характеристики рек, впадающих в водохранилище по гидропостам.

Река, г/пост	$F,км^2$	H, м	$Q_{ср.год.}$	δ	Ф	Оледен. %	Тип питания
Нарын-с.Учтерек	47000	2860	296 332	1,28	0,63	2,8	ледниково-снеговое
Чичкан	903	2890	17,8	0,77	0,64	1,2	снегово-ледниковое
Торкент	664	2220		0,29	0,63	0	снегово-дождевое
Нарын –г.Нарын (аналог)	10500	3570	92,7	1,37	0,62	9,2	ледниково-снеговое
Узунахмат (аналог)	1790	2360	26,8 28,2	0,68	0,66	< 1,0	снегово-ледниковое

Аналог для восстановления стока р.Торкент не найден, поскольку эта река относится к снеговому типу питания с невысоким водосбором. И ни по каким параметрам не совпадает с реками данного региона.

Таблица 3.20. Подбор аналога и уравнения связи

Река, г/пост	Река-аналог	Уравнение связи	Коэф. корреляции
Нарын –с.Учтерек	Нарын- г.Нарын	У=2,612х+83,2	0,73
	Узунахмат	У=7,63х+105,8	0,80
Чичкан	Узунахмат	У=0,455х+3,237	0,72

Средний годовой сток р.Чичкан можно с достаточной степенью точности восстановить по данным г/поста на р.Узунахмат (рисунок 3.22).

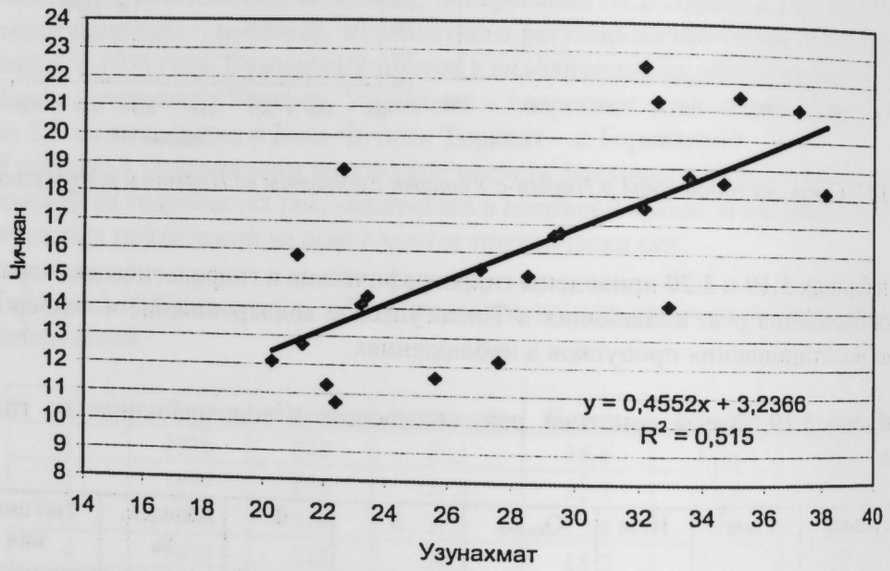


Рис. 3.22. Связь среднегодовых расходов воды рек Узунахмат и Чичкан за параллельный ряд наблюдений

Из изложенного выше очевидно, что все действующие ранее гидропосты на самой р.Нарын (за исключением гидропостов «г.Нарын» и «Уч-терек» были закрыты в период 90-х годов прошлого столетия. Для восстановления данных среднегодовых расходов по закрытым гидропостам в качестве аналога взяты данные по г/посту «г.Нарын» (рисунок 3.23). В таблице 3.21 приведены уравнения регрессии, описывающие эти связи и коэффициент корреляции, который указывает на допустимую тесноту связи и допустимую погрешность расчетов.

Таблица 3.21. Подбор аналога для восстановления среднегодовых расходов по закрытым гидропостам на р.Нарын

Река, гидропост	Река-аналог	Уравнение связи	Коэф. корреляции
Нарын –у.р.Кёкирим	Нарын-г. Нарын	У=1,949х + 34,69	К=0,77
Нарын-у.р.Кёкемерен	Нарын-г. Нарын	У=0,972х + 22,86	К=0,84

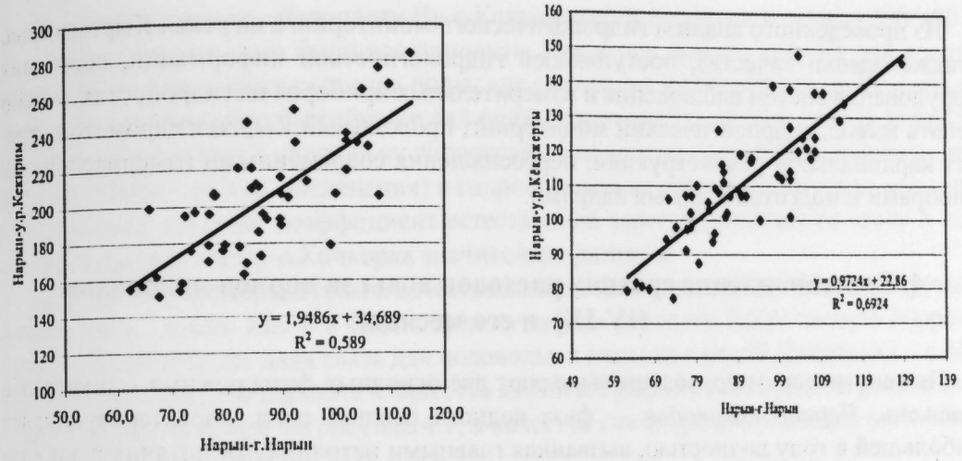


Рис. 3.23. Связь среднегодовых расходов по гидропостам на р.Нарын

На всех притоках р.Нарын (Кёкирим, Атбаши, Алабуга, Кёкемерен и других) гидропосты также были закрыты. Средний годовой сток практически большинства притоков можно восстанавливать по уравнениям регрессии, описывающим связь с данными по гидропосту «г.Нарын», который имеет длинный и надежный ряд наблюдений. В качестве примера приведены притоки р.Нарын – реки Кёкирим, Атбаши, Кёкёмерен (рисунок 3.24). В таблице 3.23. приведены уравнения регрессии данных связей, по которым с допустимой погрешностью можно восстанавливать сток данных рек.

Таблица 3.23. Подбор аналога для притоков р.Нарын

Река	Река-аналог	Уравнение связи	Коэф. корреляции
Атбаши	Нарын-г.Нарын	У=0,16х + 3,397	К=0,60
Кёкемерен	Нарын-г.Нарын	У=0,759х + 13,58	К=0,65

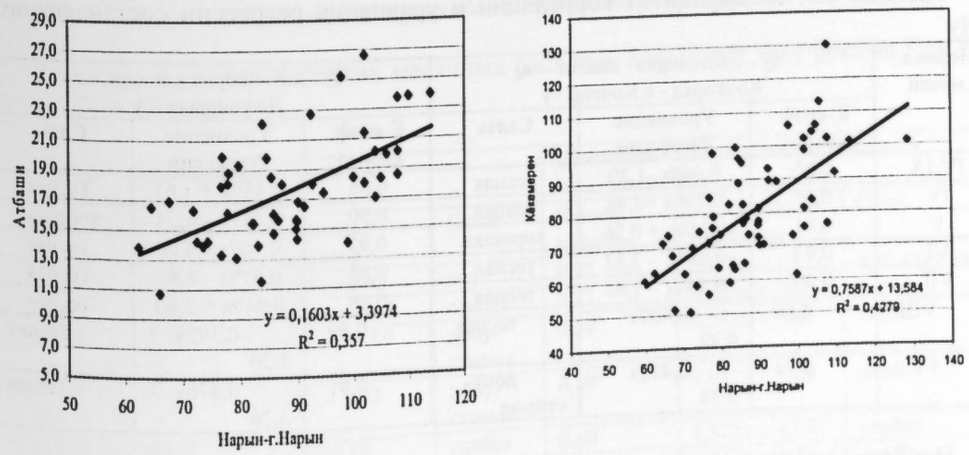


Рис. 3.24. Связь средних годовых расходов притоков с данными по г/посту «г.Нарын».

Из проведенного анализа гидрологического мониторинга на реках Кыргызстана, а также оценки качества, поступающей гидрологической информации, состояния оборудования систем наблюдения и измерительных приборов на гидропостах можно сделать вывод: гидрологический мониторинг, проводимый Кыргызгидрометом, требует кардинальной реконструкции, переоснащения современными измерительными приборами и подготовленными кадрами.

4. Восстановление средних расходов воды за период половодья (IV-IX) и его месяцы

По генетическим признакам выделяют две основных фазы режима - половодье и межень. *Период половодья* - фаза водного режима реки, характеризующаяся наибольшей в году водностью, вызванная главными источниками питания реки - таянием сезонного снега и ледников выскогорной зоны, на которые часто накладываются дождевые воды, вызывающие дождевые паводки [1,4,25,26].

В данном разделе был использован метод гидрологической аналогии для восстановления средних расходов воды за период половодья и его месяцы (IV-IX) с целью сравнения точности и погрешности расчетов с данными, восстановленными по среднегодовым расходам.

4.1. Чуйский бассейн

Чуйский бассейн, как и в предыдущем рзделе, разделен на 3 группы рек.

4.1.1. Реки верховья бассейна р.Чу, Кочкорская впадина

Кочкорская впадина. Для восстановления среднемесячных расходов воды и расхода за половодье составляющих р.Чу (рек Джуанарык и Кочкор) взят гидропост Чу-с.Кочкорка. Качество связи и коэффициенты корреляции представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Коэффициент корреляции и уравнения регрессии составляющих р.Чу

Период, месяц	Чу - с.Кочкорка - аналог – x, Кочкорка - с.Кочкор –y			Чу - с.Кочкорка - аналог – x, Джуанарык – y		
	К-коэф. коррел.	Уравнение Регрессии	Связь	К-коэф. коррел.	Уравнение Регрессии	Связь
IV-IX	0,85	0,448x -1,20	тесная	0,86	0,439x + 1,61	Тесная
IV	0,55	0,296x +2,98	слабая	0,80	0,617x - 4,54	хорошая
V	0,81	0,389x + 0,26	хорошая	0,92	0,707x - 4,66	Тесная
VI	0,93	0,524x – 3,83	тесная	0,85	0,419x - 4,86	Тесная
VII	0,90	0,464x – 1,45	тесная	0,88	0,449x + 2,83	Тесная
VIII	0,86	0,407x – 0,92	тесная	0,89	0,392x + 3,20	тесная
IX	0,74	0,412x – 0,38	допу-стимая	0,91	0,476x - 3,76	Тесная

Наиболее актуален вопрос восстановления стока р.Чу - гидропост Кочкорка, сведения по которому используются в оперативном порядке, для прогноза притока в Орто-Токойское водохранилище.

В наблюдениях по гидропосту Чу-с.Кочкорка есть пропуски в период 2006-2013 гг., которые необходимо было восстановить. Как и при выборе аналога для восстановления среднегодовых расходов воды, для половодья и его месяцев подбор аналогов среди рек Чуйского бассейна не дал приемлемых результатов и тесных корреляционных зависимостей, поскольку гидрографические характеристики (площадь, высота водосбора, степень оледенения) и гидрологические параметры (расход воды, показатель типа питания, коэффициент естественной зарегулированности стока и т.д.) рек-аналогов и реки Чу-с.Кочкорка значительно разнятся.

По некоторым параметрам в качестве аналога была взята р.Чон-Кемин - «устье», однако связь слабая. Как и в связях среднегодовых расходов более тесную корреляционную зависимость дала связь для половодья и месяцев с рекой Джергалан – с.Михайловка, которая и была взята в качестве аналога. График связи средних расходов за половодье представлен на рисунке 4.1, а качество связи среднемесячных расходов в таблице 4.2.

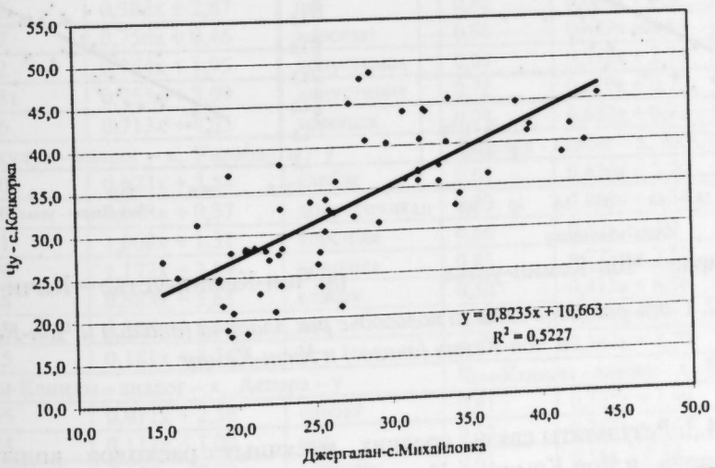


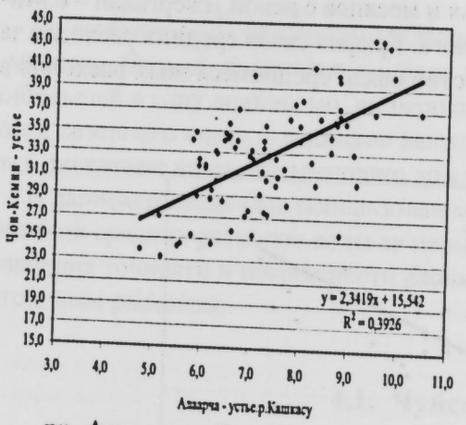
Рис. 4.1. Связь средних расходов за половодье рек Джергалан и Чу

Таблица 4.2. Связь средних месячных расходов воды реки Чу с реками Чон-Кемин и р.Джергалан

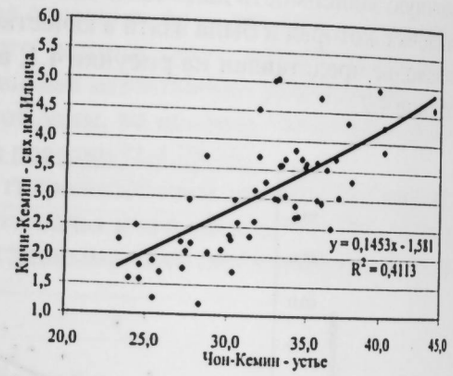
Период, Месяц	Чон-Кемин - аналог – x, Чу - с.Кочкорка – y			Джергалан - с.Михайловка - аналог– x, Чу - с.Кочкорка –y		
	К-коэф. коррел.	Уравнение регрессии	Связь	К-коэф. коррел.	Уравнение регрессии	Связь
IV-IX	0,44	0,755x +0,65	нет	0,72	0,824x + 10,7	допустимая
IV	0,55	0,596x + 11,7	слабая	0,27	0,204x + 14,6	нет
V	0,65	0,872x + 6,59	допу-стимая	0,58	0,541x + 15,7	слабая
VI	0,70	1,06x – 1,92	допу-стимая	0,59	0,941x + 16,4	слабая
VII	0,60	1,03x -7,96	слабая	0,60	0,875x + 12,7	слабая
VIII	0,28	0,424x +17,48	нет	0,61	0,762x + 8,71	слабая
IX	0,33	0,501x +17,86	нет	0,65	0,715x + 13,2	допустимая

4.1.2. Реки – правые притоки р.Чу

Наиболее значимый приток реки Чу р.Чон-Кемин, на которой действовало два гидрологических поста – «устье» и «устье р.Карагайлибулак», однако гидропост «устье» имеет пропуски наблюдений 2011-2014 гг., а гидропост «устье р.Карагайлибулак», закрыт в 2010 г., данные восстановлены по г/посту «устье». Для восстановления среднего расхода за половодье и его месяцы по г/посту «устье» (как и среднегодовых расходов) в качестве аналога также взята р.Алаарча. Сток р.Кичи-Кемин имеет допустимую связь со стоком р.Чон-Кемин-устье за период половодья и апрель, июнь и июль месяцы (рис.4.2, табл.4.3).



pp. Алаарча – Чон-Кемин-устье



pp.Чон-Кемин-устье – Кичи-Кемин

Рис. 4.2. Связь расходов воды за половодье рек Алаарча (аналог) и Чон-Кемин и Чон-Кемин (аналог) и Кичи-Кемин

Таблица 4.3. Результаты связи средних месячных расходов воды рек Чон-Кемин – Алаарча и Чон-Кемин – Кичи-Кемин

Период, Месяц	Алаарча - аналог – х, Чон-Кемин – у			Чон-Кемин - аналог – х, Кичи-Кемин – у		
	К-коэф. коррел.	Уравнение Регрессии	Связь	К-коэф. коррел.	Уравнение регрессии	Связь
IV-IX	0,65	2,342x + 15,54	допустимая	0,65	0,145x -1,58	допустимая
IV	0,41	3,611x + 5,90	нет	0,67	0,167x – 0,17	допустимая
V	0,60	4,775x +8,63	слабая	0,58	0,129x + 0,21	слабая
VI	0,74	4,562x + 6,25	допустимая	0,72	0,117x – 0,38	допустимая
VII	0,58	1,961x + 23,3	слабая	0,64	0,107x – 0,99	допустимая
VIII	0,57	1,276x + 28,4	слабая	0,27	0,039x + 1,40	нет
IX	0,61	2,029x + 15,2	слабая	0,13	0,054x + 0,66	нет

Представленные в таблице уравнения регрессии могут быть использованы для восстановления средних расходов воды половодья и месяцев при допустимой, хорошей и тесной связи, т.е. при значении коэффициента корреляции ≥0,65.

4.1.3. Реки - левые притоки р.Чу, стекающие с северного склона Кыргызского хребта

К этой группе относятся левые притоки р.Чу от р.Кызыл-Суу до р.Аспары.

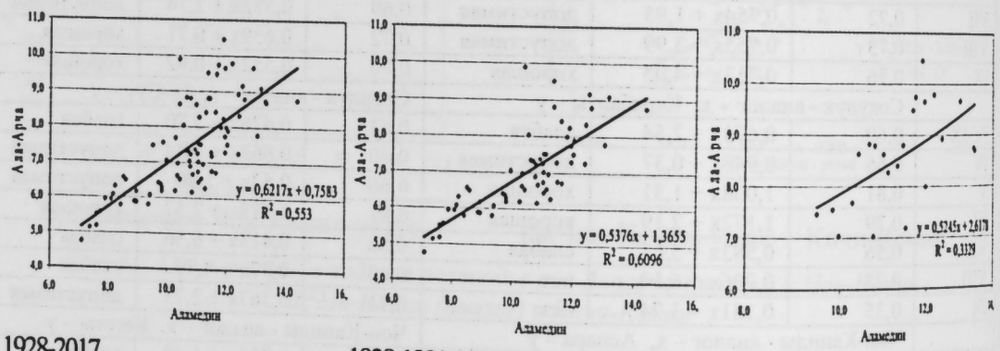
В настоящее время гидрологические наблюдения ведутся только на реках Кегеты, Аламедин, Алаарча, Сокулук, Карабалты и Чон-Каинды, которые и привлечены в качестве аналогов. Уравнения регрессии и данные расчетов приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4. Результаты линейной регрессионной связи за половодье и месяцы (IV-IX)

Период, Месяц	К-коэф. коррел.	Уравнение Регрессии	Связь	К-коэф. коррел.	Уравнение регрессии	Связь
	Аламедин - аналог – х, Иссык-Ата – у			Аламедин - аналог – х, Алаарча – у		
IV-IX	0,78	0,816x +1,63	хорошая	0,75	0,622x + 0,76	хорошая
IV	0,20	0,295x +2,72	нет	0,51	0,425x + 0,83	слабая
V	0,42	0,382x + 2,87	нет	0,82	0,643x + 0,61	хорошая
VI	0,87	0,756x + 0,46	хорошая	0,86	0,629x + 0,95	хорошая
VII	0,72	0,754x + 1,95	допустимая	0,69	0,532x + 2,74	допустимая
VIII	0,73	0,755x + 3,99	допустимая	0,72	0,639x + 0,71	хорошая
IX	0,76	0,713x + 4,05	хорошая	0,77	0,552x + 0,92	хорошая
	Сокулук - аналог – х, Карабалты – у			Сокулук - аналог – х, Ак-Суу – у		
IV-IX	0,60	0,673x + 2,54	слабая	0,63	0,426x + 3,70	слабая
IV	0,66	0,948x + 0,37	допустимая	0,70	0,863x + 0,34	допустимая
V	0,81	1,008x + 1,31	хорошая	0,66	0,52x + 1,90	допустимая
VI	0,79	1,172x + 2,19	хорошая	0,81	0,778x + 2,57	хорошая
VII	0,56	0,583x + 5,61	слабая	0,58	0,413x + 6,56	слабая
VIII	0,28	0,206x + 6,50	нет	0,60	0,37x + 4,79	слабая
IX	0,35	0,181x + 3,74	нет	0,71	0,367x + 2,77	допустимая
	Чон-Каинды - аналог – х, Аспара – у			Чон-Каинды - аналог – х, Кегеты – у		
IV-IX	0,55	0,911x + 2,38	слабая	0,61	0,725x + 1,49	слабая
IV	0,24	0,111x + 1,03	нет	0,52	0,263x + 0,45	нет
V	0,84	2,119x + 0,72	хорошая	0,61	0,56x + 0,84	слабая
VI	0,78	1,781x + 0,57	хорошая	0,68	0,988x + 0,72	допустимая
VII	0,60	1,283x + 2,74	слабая	0,49	0,661x + 2,60	нет
VIII	0,26	0,463x + 4,80	нет	0,38	0,483x + 3,77	нет
IX	0,15	0,082x + 3,14	нет	0,36	0,248x + 2081	нет
	Кегеты - аналог – х, Шамси – у			Кегеты - аналог – х, Кызыл-Суу – у		
IV-IX	0,62	0,996x + 2,53	слабая	0,77	0,575x +0,08	хорошая
IV	0,60	1,056x + 1,10	слабая	0,67	1,48x + 0,30	допустимая
V	0,88	1,638x + 1,59	хорошая	0,60	0,684x + 0,46	слабая
VI	0,85	1,50x + 3,38	хорошая	0,75	0,466x + 0,11	хорошая
VII	0,72	1,305x + 5,18	допустимая	0,75	0,384x + 0,56	хорошая
VIII	0,74	1,421x + 3,22	допустимая	0,54	0,308x + 0,80	нет
IX	0,67	1,344x + 1,76	допустимая	0,56	0,423x + 0,20	слабая
	Чон-Каинды- аналог – х, Джарды-Каинды – у					
IV-IX	0,70	0,728x + 0,28	допустимая			
IV	0,46	0,171x + 0,48	нет			
V	0,81	1,021x + 0,18	хорошая			
VI	0,68	0,759x + 0,44	допустимая			
VII	0,54	0,64x + 0,98	слабая			
VIII	0,50	0,577x + 1,02	слабая			
IX	0,42	0,151x + 1,29	нет			

Не подобраны аналоги для восстановления стока по рекам Джеламыш и Чункурчак. Это реки с относительно небольшими площадями и невысокими водосборами, по показателю типа питания относятся к ледниково-снеговому типу, однако в основном преобладает сток за счет таяния снежников высокогорья и сезонного снега. По этой причине реки со значительным оледенением в качестве аналогов им не подходят.

Проверка достоверности и соответствия измеренных расходов воды и подсчета стока по гидропостам на реках Чуйского бассейна за разные периоды: до 1992 г., 1992-2014 гг. и за весь период наблюдений, как и для среднегодовых расходов, проведена для рек Аламедин и Алаарча, которые служат аналогами друг для друга, поскольку близки по основным гидрографическим и гидрологическим параметрам и имеют длинный, почти без пропусков, параллельный ряд наблюдений 1929-2017 гг. Линейные связи средних расходов воды за половодье по периодам показаны на рисунке 4.3. Как и в связях среднегодовых расходов воды, для периода половодья наиболее тесная связь для периода 1928-1991 гг. и слабая связь для периода 1992-2017 гг.



1928-2017 1928-1991 1992-2017

Рис.4.3. Связи средних расходов за половодье рек Ала-Арча и Аламедин

Причину отсутствия (нарушения) связи между расходами воды этих рек можно установить, начиная с проверки первичных (полевых) материалов наблюдений за уровнем и измерением расходов воды на г/постах этих рек, в построении ежегодной кривой Q=f(H), в методах подсчета стока при составлении ежегодника и вычислении среднесуточных расходов воды.

4.2. Иссык-Кульский бассейн

Реки Иссык-Кульского бассейна, на которых действуют гидрологические посты, сокращены до 24 (против 70 действующих в советский период). Однако и по действующим гидропостам много пропусков в наблюдениях, и отсутствуют данные среднемесячных расходов воды, и как следствие, среднегодовых, поскольку при отсутствии данных даже за один месяц среднегодовой расход не подсчитывается. Наиболее продолжительные ряды 60-70 лет на реках Джергалан, Каракол, Чон-Кызыл-Суу, Чон-Ак-Суу, Ак-Суу и некоторых других, которые и подобраны в качестве аналогов для восстановления расходов воды за половодье и его месяцы.

4.2.1. Реки восточной части бассейна - Тюп и Джергалан

В наиболее увлажненной и возвышенной части бассейна формируют сток самые крупные реки – Джергалан и Тюп со среднегодовыми расходами воды 22,6 и 11,5 м³/с. соответственно, наблюдения по которым наиболее важны, поскольку на них приходится 28% проверхностного притока в озеро и особенно часто пропуски в наблюдениях именно в период половодья (IV-IX).

Пропуски в наблюдениях по р.Тюп–с.Тюп восстановлены по графику связи с расходами воды реки Джергалан – с.Михайловка, сток которой в свою очередь был восстановлен по связи с гидропостом "с.Советское". По г/посту р.Тюп – с.Сарытологой сток также восстановлен по связи с данными г/поста "с.Советское" На рисунке 4.4 представлены графики связи среднего стока за половодье (IV-IX).

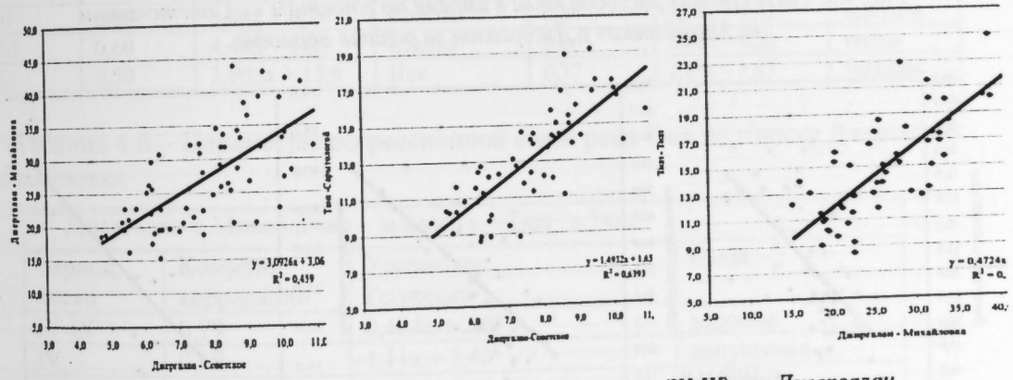


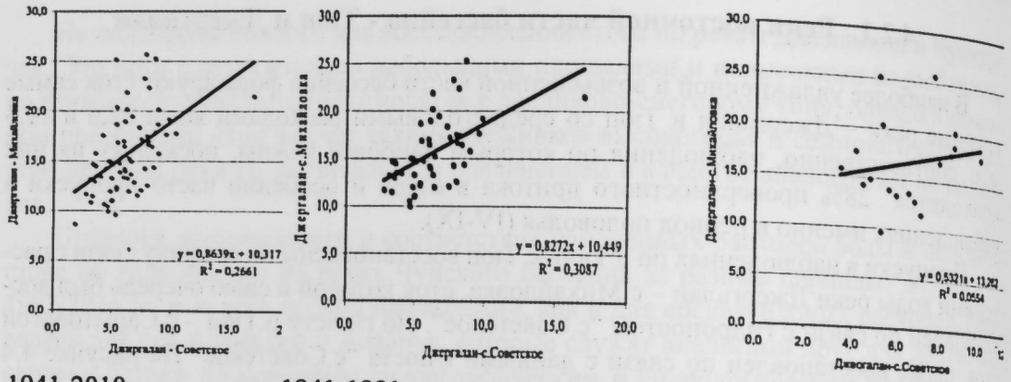
Рис. 4.4. Связи средних расходов воды за половодье (IV-IX) рек Джергалан (с.Михайловка) и р.Тюп по реке-аналогу Джергалан (с.Советское)

Коэффициенты корреляции составляют 0,68; 0,80 и 0,78, связи приемлемые (допустимые) и гидрологический пост «с.Советское» на р.Джергалан может служить аналогом для восстановления среднего расхода воды за период половодья.

Средние месячные расходы воды. Связи среднемесячных расходов воды менее тесные, причем эта связь уменьшается в период 1992-2010 гг. Расходы воды этого периода уменьшают связь и, как следствие, величину коэффициента корреляции за весь рассматриваемый период 1941-2010 гг.

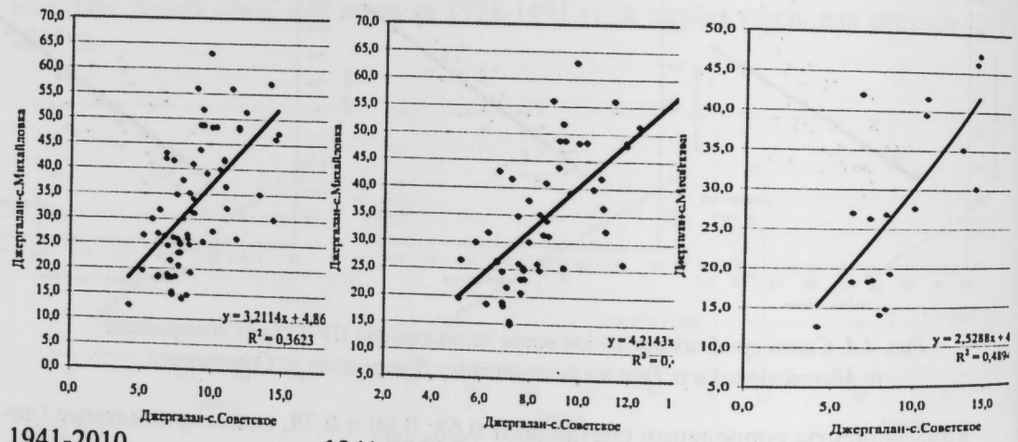
В качестве примера приведены графики связи расходов воды за апрель, июль и август за сравниваемые периоды 1941-2010, 1941-1991 и 1992-2010 гг. по реке Джергалан на гидропостах "с.Советское" и "с.Михайловка" (рисунки 4.5–4.7).

В таблицах 4.5 и 4.6 приведены коэффициенты корреляции и уравнения регрессии, по которым можно восстанавливать средние месячные и расходы воды за период половодья, дана оценка приемлемости связей (согласно величине коэффициента корреляции).



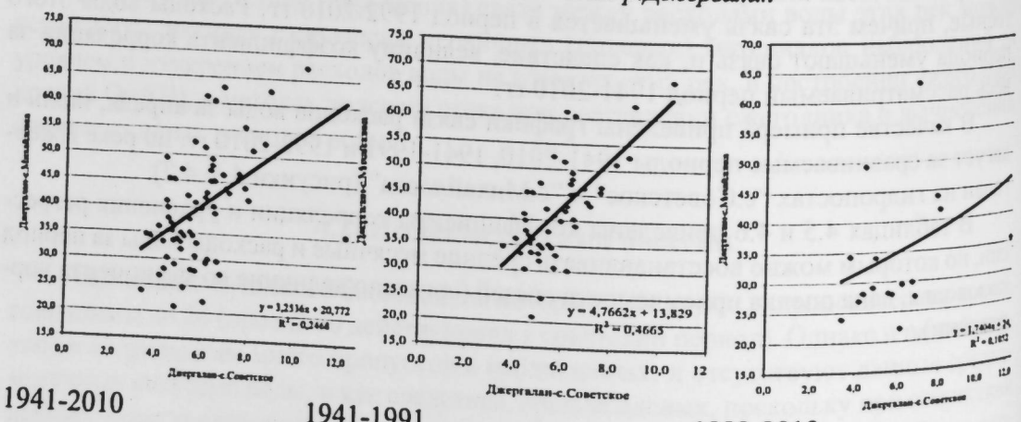
1941-2010 1941-1991 1992-2010

*Рис. 4.5. Связь средних расходов воды в **апреле** по г/постам «с.Советское» и «с.Михайловка» р.Джергалан за разные периоды*



1941-2010 1941-1991 1992-2010

*Рис. 4.6. Связь средних за разные периоды расходов воды в **июле** по г/постам «с.Советское» и «с.Михайловка» р.Джергалан*



1941-2010 1941-1991 1992-2010

*Рис. 4.7. Связь средних расходов воды в **августе** по г/постам «с.Советское» и «с.Михайловка» р.Джергалан за разные периоды*

Критерии оценки тесноты связи: K < 0,54 – связи нет; K=0,55-0,64 – слабая; K=0,65-0,74 – допустимая; K=0,75-0,84 – хорошая; K=0,85-0,98 – тесная.

Таблица 4.5. Параметры регрессионной связи рек Джергалан и Тюп по гидропосту Джергалан-с.Советское

Период, Месяц	x – Джергалан - с.Советское – аналог y – Джергалан - с.Михайловка			x – Джергалан - с.Советское – аналог y – Тюп - с.Сарытологой		
	К-коэф. коррел.	Уравнение регрессии	Связь	К-коэф. коррел.	Уравнение регрессии	Связь
IV-IX	0,98	1,742x – 1,61	Тесная	0,80	1,493x + 1,65	хорошая
IV	0,51	0,864x + 10,3	Нет	0,85	2,46x + 2,20	тесная
V	0,81	2,108x – 3,84	Хорошая	0,78	2,0x – 0,32	хорошая
VI	0,72	2,151x + 1,37	допустимая	0,85	1,29x + 1,0	тесная
VII	0,60	3,08x + 6,26	Слабая	0,84	1,19x + 1,31	хорошая
VIII	0,60	4,44x + 14,3	Слабая	0,86	1,48x – 0,20	тесная
IX	0,50	3,003x + 15,9	Нет	0,77	1,13x – 1,43	хорошая

Таблица 4.6 – Параметры регрессионной связи реки Тюп по г/посту Джергалан-с.Михайловка

x– Джергалан-с.Михайловка – аналог, y – Тюп –с.Тюп			
Период, месяц	Коэффиц. корреляции	Уравнение Регрессии	Связь
IV-IX	0,79	0,484x + 2,07	хорошая
IV	0,68	1,11x + 3,40	допустимая
V	0,78	0,95x + 4,66	хорошая
VI	0,82	0,498x + 2,98	хорошая
VII	0,74	0,251x + 2,76	допустимая
VIII	0,60	0,251x + 0,63	слабая
IX	0,51	0,23x + 3,98	нет

Согласно данным таблиц наиболее слабая связь среднемесячных расходов воды для месяцев переходного периода (межень-половодье) – апрель, сентябрь.

Если сравнивать тесноту связи (коэффициент корреляции) по периодам, то самые низкие его значения за период 1992-2017 гг. (таблица 4.7), что подтверждает вывод, сделанный в разделе 3, о низком качестве измерений расходов воды, ошибках расчета и подсчёта стока.

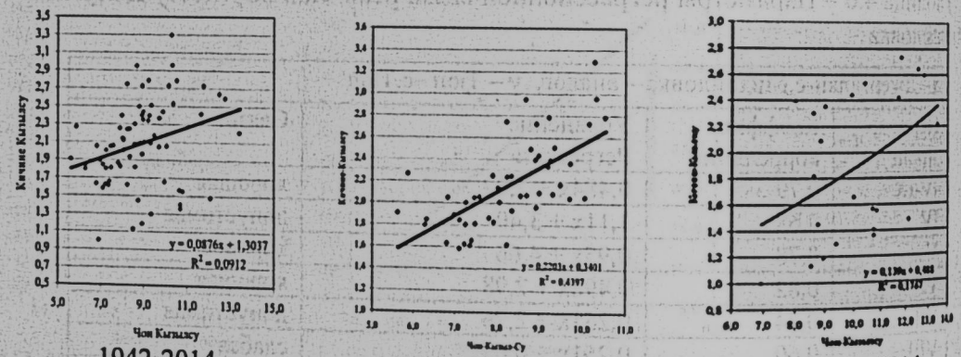
Таблица 4.7. Коэффициенты корреляции связи средних месячных расходов по периодам

Месяц	Коэффициент корреляции		
	Расчетный период		
	1941-2010	1941-1991	1992-2010
Апрель	0,51	0,58	0,20
Июль	0,60	0,67	0,68
Август	0,50	0,69	0,30

4.2.2. Реки, стекающие с северного склона хребта Тескей-Ала-Тоо

Реки данного участка берут начало с высокогорной зоны хребта и имеют значительное оледенение и ледниково-снеговое питание.

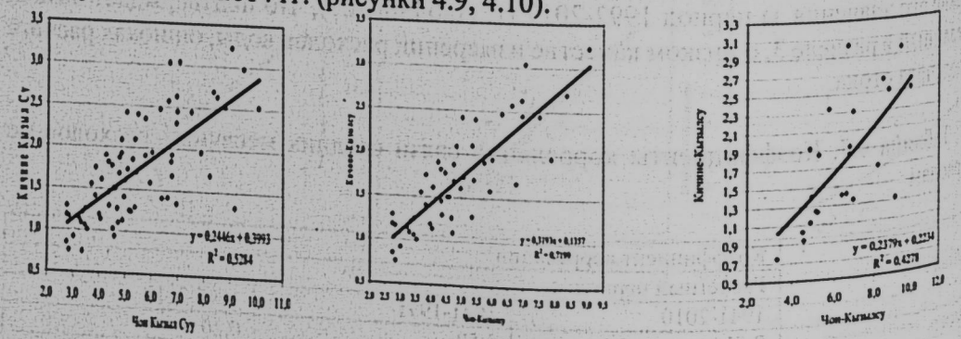
Наиболее значительные из этой группы реки Каракол, Джеты-Огуз, Джууку, Чон-Кызыл-Суу, Барскоон, бассейны которых имеют значительное оледенение (10% и более). Действующие гидропосты остались только на пяти реках, но и по ним наблюдения имеют пропуски, а измеренные расходы воды вызывают большие сомнения в плане достоверности. В большей степени это относится к данным измеренных расходов в период после 1991 г., что особенно видно на графиках связи при подборе аналогов. Если взять параллельный ряд наблюдений по рекам до 1991 г., то по большинству рек связи тесные, с высоким коэффициентом корреляции. По этим же рекам связи за весь период наблюдений, включая 1992-2017 гг., слабые или вообще отсутствуют. За счет периода (1992-2017 гг.) уменьшается величина коэффициента и за весь период. В качестве примера приведены связи средних расходов воды за половодье по рекам Чон-Кызыл-Суу – аналог и Кичине-Кызыл-Суу за период, до 1941-1991 г. и 1992-2017 гг. (рисунок 4.8).



1942-2014 1942-1991 1992-2014

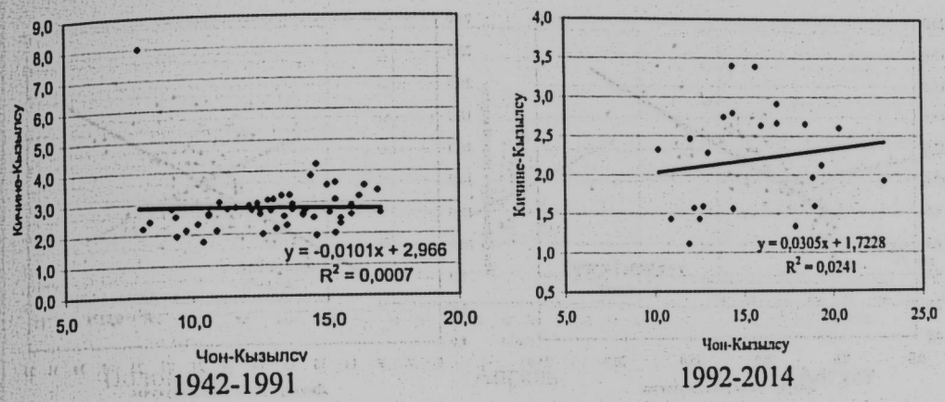
Рис. 4.8. Связи средних расходов за половодье рек Чон-Кызылсу и Кичине-Кызылсу

Средние месячные расходы воды. Связи среднемесячных расходов воды по этим рекам также свидетельствуют об отсутствии связи и низком коэффициенте корреляции периода 1992-2014 гг. (рисунки 4.9, 4.10).



1942-2014 1942-1991 1992-2014

Рис. 4.9. Связь средних месячных расходов воды за май рек Чон-Кызылсу и Кичине-Кызылсу за сравниваемые периоды



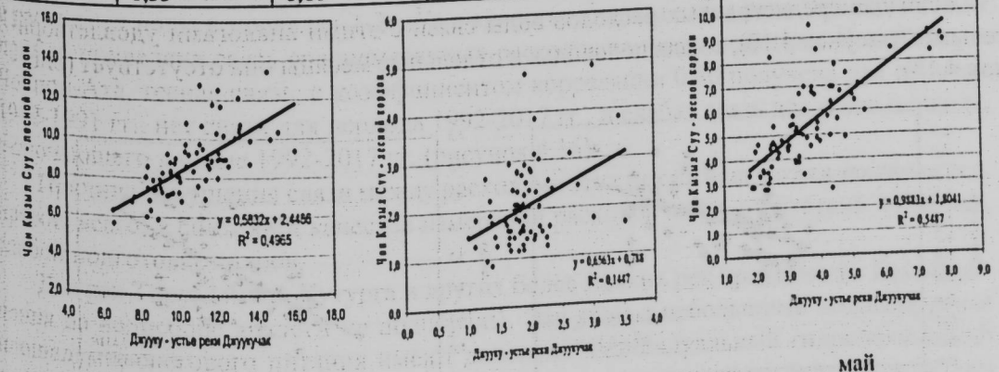
1942-1991 1992-2014

Рис. 4.10. Связь средних месячных расходов воды за август рек Чон- и Кичине-Кызылсу за сравниваемые периоды

В таблице 4.8 приведены коэффициенты корреляции уравнения регрессии и оценка связи среднемесячных расходов воды за май и август за сравниваемые периоды. Тесные связи получены для половодья и некоторых месяцев по рекам Джууку и Чон-Кызыл-Суу, исключение апрель месяц, где связь отсутствует (рисунки 4.11, 4.12 и таблица 4.9). Для восстановления средних расходов по рекам этого участка – Тон, Джеты-Огуз, Тоссор, Турасу в качестве аналогов можно использовать данные рек Каракол, Джууку, Чон-Кызыл-Суу, но с учётом периода наблюдений.

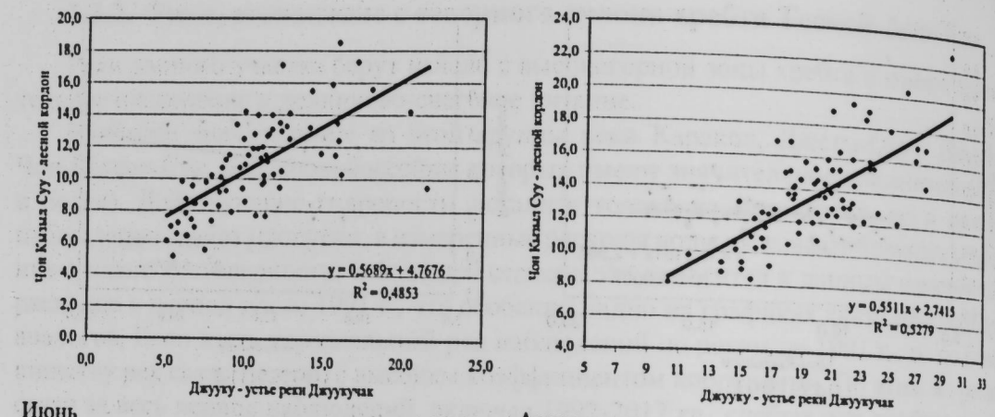
Таблица 4.8. Параметры связи рек Чон- и Кичине- Кызыл-Суу

Период, месяц	x – Чон-Кызыл-Суу – аналог, y – Кичине-Кызыл-Суу				
	К – коэффициент корреляции, период			Уравнение регрессии	Связь
	1942-2014	1942-1991	1992-2014	за период 1942-1991	1942-1991
IV-IX	0,51	***0,79***	0,61	0,396x – 0,04	хорошая
IV	0,50	***0,77***	0,27	0,275x + 0,73	хорошая
V	0,72	***0,85***	0,65	0,319x + 0,14	тесная
VI	0,52	***0,78***	0,63	0,334x – 0,195	хорошая
VII	0,41	***0,66***	0,32	0,205x + 0,50	допустимая
VIII	связи нет			связи нет	нет
IX	0,35	***0,60***	0,31	0,162x + 0,44	слабая



Половодье апрель май

Рис. 4.11. Связь средних расходов воды рек Джууку и Чон-Кызыл-Суу



Июнь Август

Рис. 4.12. Связь средних месячных расходов воды рек Джууку и Чон-Кызыл-Суу

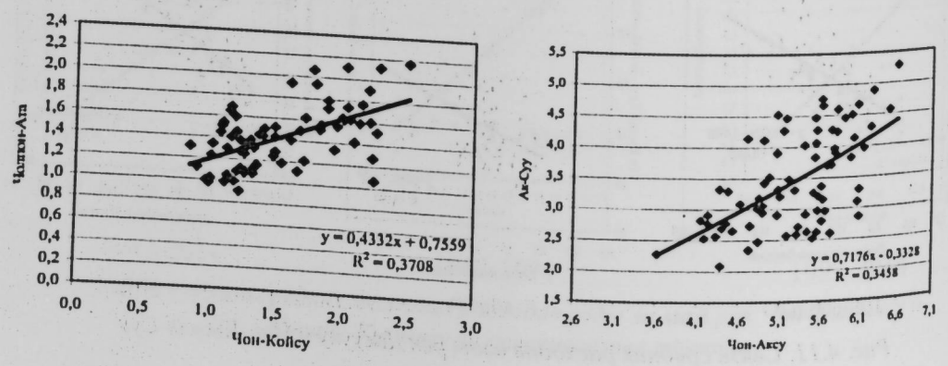
Таблица 4.9. параметры связи расходов воды рек Джууку и Чон-Кызыл-Суу

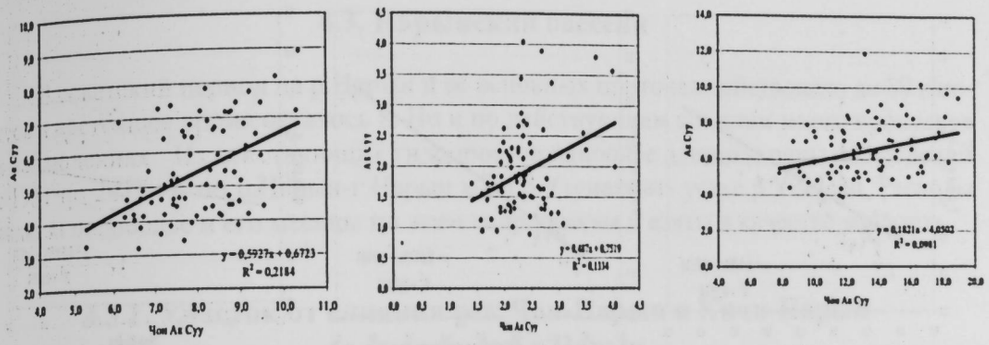
Период, месяц	x – Джууку – аналог, y – Чон-Кызы-Суу		
	К-коэф. кор.	Уравнение регрессии	Связь
IV-IX	0,70	0,583x + 2,45	допустимая
IV	0,41	0,656x + 0,79	нет
V	0,74	0,988x + 1,80	допустимая
VI	0,70	0,569x + 4,77	допустимая
VII	0,68	0,487x + 5,27	допустимая
VIII	0,73	0,551x + 2,74	допустимая
IX	0,72	0,526x + 0,91	допустимая

4.2.3. Реки, стекающие с южного склона хребта Кунгей-Ала-Тоо

Гидрологические посты на реках этой группы действующие, но при этом почти по всем есть пропуски в наблюдениях и довольно продолжительные. Для рек со значительным оледенением и расходами воды 4-7 м^3/с в качестве аналога взята река Чон-Ак-Суу.

Если для среднегодовых расходов воды связи с этими аналогами удовлетворительные (рисунок 4.10), то для половодья и отдельные месяцы она отсутствует (рисунок 4.13).

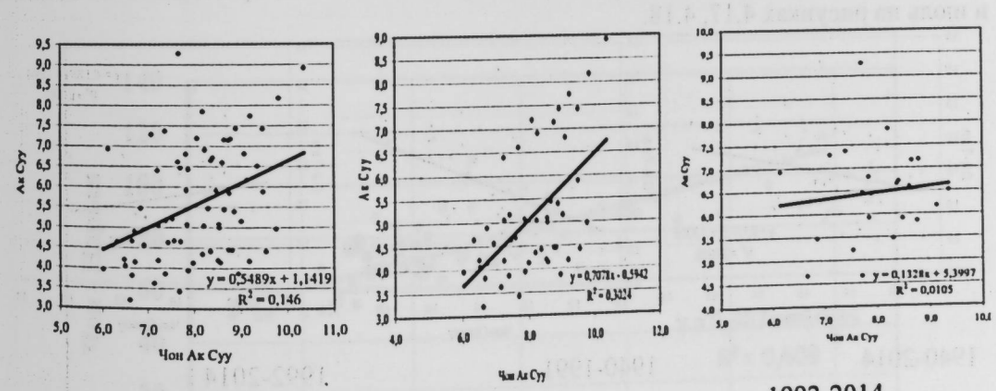




Половодье Апрель Август

Рис. 4.13. Связь среднегодовых расходов воды рек северного побережья (верхний) и 4.14 – Связь расходов воды рек Чон-Ак-Суу и Ак-Суу (нижний)

Связь расходов воды за половодье в отдельные периоды также очень слабая или практически отсутствует за исключением периода 1941-1991 гг. (рисунок 4.15)



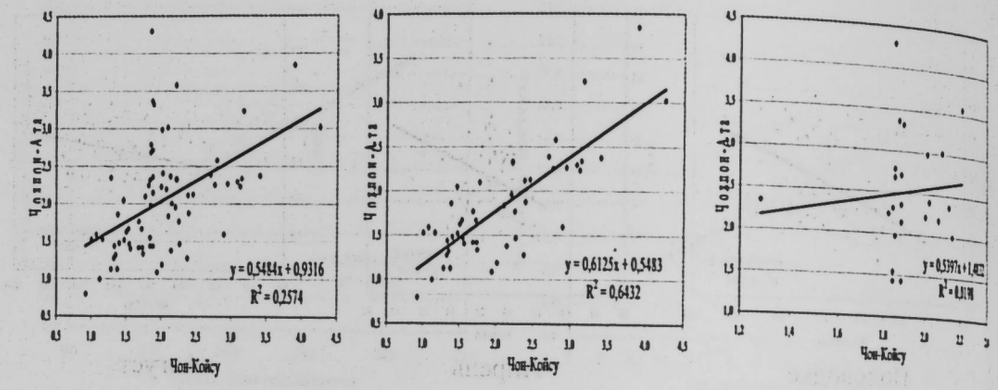
1943-2014 1943-1991 1992-2014

Рис. 4.15. Связь средних расходов воды половодья по рекам Чон-Ак-Суу и Ак-Суу

Для рек с небольшими площадями водосборов и незначительным оледенением, с расходами воды в пределах 1-2 м^3/с в качестве аналога взята река Чон-Койсу. Как пример приведена связь среднемесячных расходов за июнь месяц рек Чон-Койсу и Чолпон-Ата, тесная связь, с коэффициентом корреляции 0,80 получена для периода 1942-1991 гг., нет связи для периода 1992-2017 гг., и слабая связь для всего периода, включающего данные 1992-2017 гг. (рисунок 4.16).

Причина нарушения связи между расходами этих рек на наш взгляд заключается, прежде всего, в снижении качества измерений расходов воды, отсутствии контроля, слабой подготовке кадров.

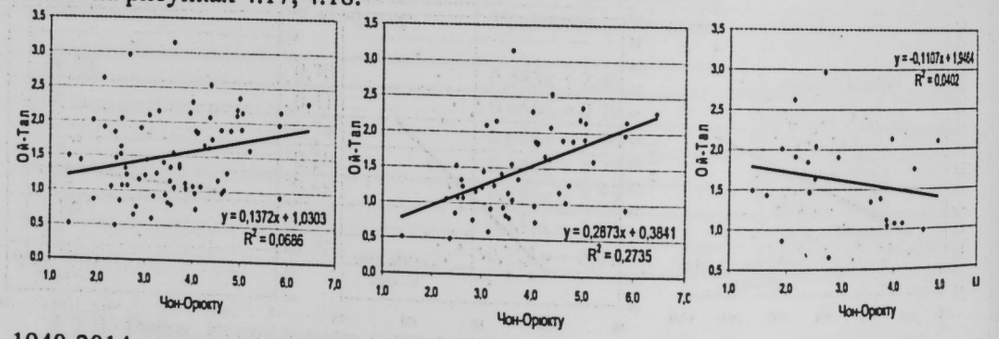
Для рек Тору-Айгыр, Кутурга и других более мелких рек практически без оледенения на водосборе аналоги не подобраны. Эти реки с небольшими водосборными площадями, снегового питания имеют довольно индивидуальный гидрологический режим. В процессе подбора аналогов установлено, что чем меньше бассейн реки, тем труднее подобрать ей аналог, даже среди рек подобного типа.



1942-2017 1942-1991 1992-2017

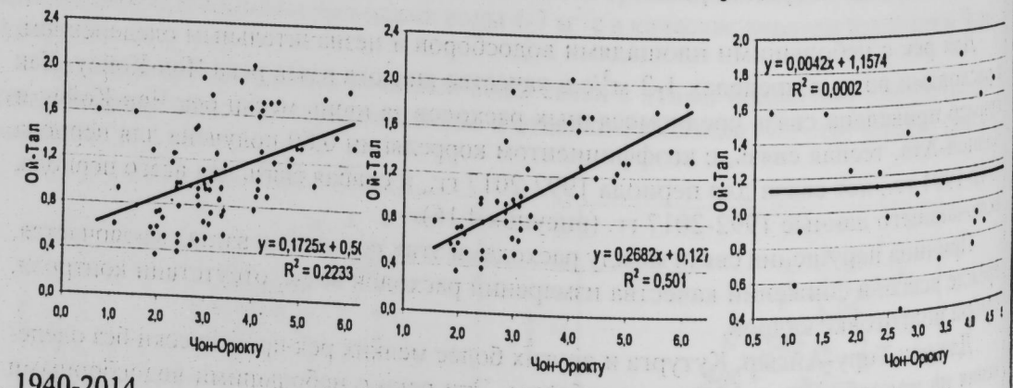
*Рис. 4.16. Связь средних месячных расходов воды за **июнь** рек Чон-Койсу и Чолпон-Ата за сравниваемые периоды*

Аналогичный результат по рекам Чон-Урюкты и Ойтал, пример связей за июнь и июль на рисунках 4.17, 4.18.



1940-2014 1940-1991 1992-2014

*Рис. 4.17. Связь средних месячных расходов воды за **июнь** рек Чон-Орюкту и Ой-Тал за сравниваемые периоды*



1940-2014 1940-1991 1992-2014

*Рис. 4.18. Связь средних месячных расходов воды за **июль** рек Чон-Орюкту и Ой-Тал за сравниваемые периоды*

4.3. Нарынский бассейн

В советский период на р.Нарын и её основных притоках действовало до 89 г/постов в настоящее время осталось 8. Но и по действующим г/постам много пропусков в наблюдениях. Из действующих гидропостов наиболее длинные ряды наблюдений с 1931 по 2017 гг. по р.Нарын-г.Нарын и по р.Узунахмат- устье р.Устасай. Расходы воды за половодье и его месяцы по этим гидропостам и взяты в качестве аналогов.

4.3.1. Участок от слияния рек Чон-Нарын и Кичи-Нарын до гидропоста г.Нарын

По рекам Чон- и Кичи-Нарыне, составляющих р. Нарын есть пропуски наблюдений, которые с допустимой степенью точности можно восстановить по связи с расходами воды по гидропосту «г.Нарын». Связи средних расходов воды за половодье и месяцы показаны на рисунках 4.19-4.21, а уравнения регрессии и теснота связи приведены в таблице 4.11.

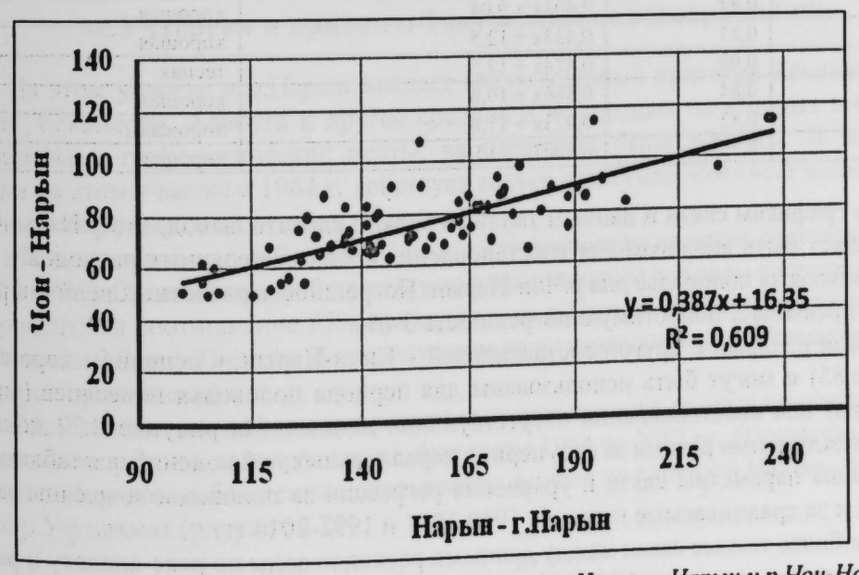
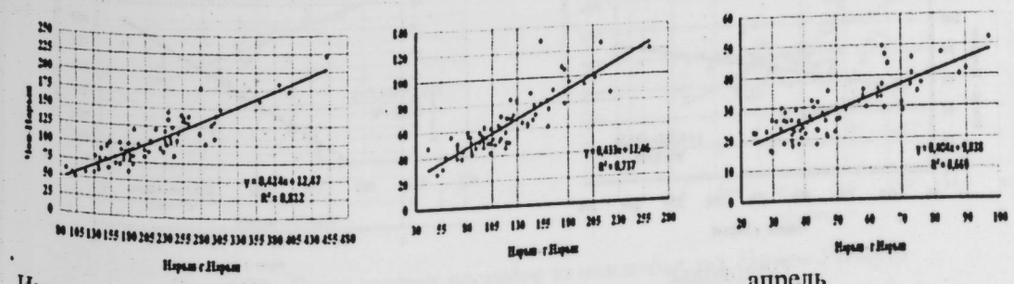
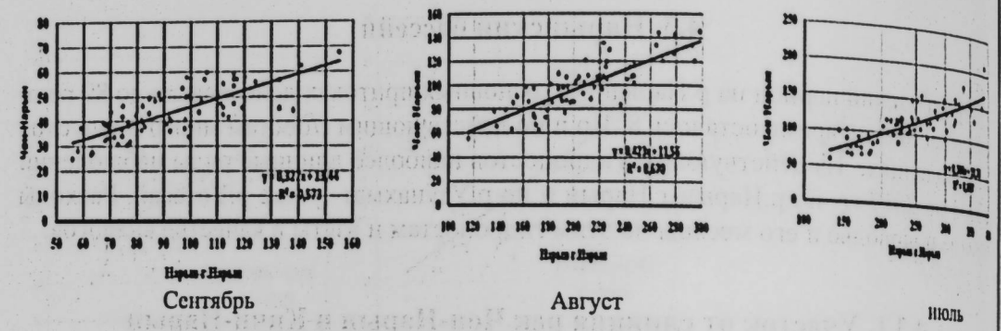


Рис. 4.19. Связь средних расходов воды за половодье рек Нарын-г.Нарын и р.Чон-Нарын



Июнь Май апрель

Рис. 4.20. Связь средних месячных расходов воды рек Нарын и Чон-Нарын



Сентябрь Август Июль

Рис. 4.21. Связи средних месячных расходов рек Нарын и Чон-Нарын

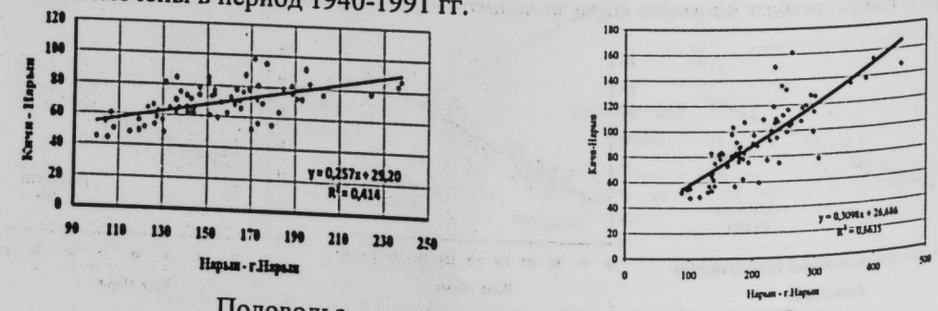
Таблица 4.11. Параметры связи расходов воды за половодье и месяцы (апрель-сентябрь) рек Нарын и Чон-Нарын

Нарын-г.Нарын – х, Чон-Нарын – у			
Период, Месяц	К- коэф. Коррел	Уравнение регрессии	Связь
IV-IX	0,78	0,387x + 9,04	хорошая
IV	0,82	0,404x + 9,04	хорошая
V	0,83	0,433x + 12,5	хорошая
VI	0,90	0,424x + 12,5	тесная
VII	0,84	0,386x + 19,8	хорошая
VIII	0,82	0,423x + 11,6	хорошая
IX	0,75	0,3027x + 13,4	хорошая

По графикам связи и данным таблицы можно сделать вывод, что р.Нарын-г.Нарын может быть аналогом для восстановления средних месячных расходов и среднего расхода за половодье для р.Чон-Нарын. Погрешность расчетных величин расходов не превышает допустимую погрешность 3-6%.

Связи р.Нарын с другой составляющей – Кичи-Нарын, в основном хорошие (К ≥0,65-0,85) и могут быть использованы для периода половодья и месяцев (апрель-сентябрь) для восстановления отсутствующих данных. На рисунке 4.22 показаны связи между этими реками за весь период параллельных наблюдений, а в таблице 4.12 приведены параметры связи и уравнения регрессии за половодье и месяцы за весь период и за сравниваемые периоды 1940-1991 и 1992-2014 гг.

Наиболее тесные связи между данными расходов воды по реке-аналогу и расчетными отмечены в период 1940-1991 гг.



Половодье Июнь

Рис. 4.22. Связи р.Нарын-г.Нарын и р.Кичи-Нарын за период 1940-2014 гг.

Таблица 4.12. Параметры связи рек Нарын и Кичи-Нарын

Период, Месяц	Нарын-г.Нарын – х, Кичи-Нарын - у				
	К – коэффициент корреляции, период			Уравнение регрессии	Связь
	1942-2010	1942-1991	1992-2010	за период 1942-1991	1942-1991
IV-IX	0,64	*0,73*	0,60	0,388x + 12,8	допустимая
IV	0,80	*0,82*	0,78	0,40x + 0,93	хорошая
V	0,80	*0,88*	0,67	0,43x + 1,61	тесная
VI	0,81	*0,84*	0,80	0,382x + 16,8	хорошая
VII	0,73	*0,81*	0,80	0,426x +14,7	хорошая
VIII	0,62	*0,65*	0,68	0,51x - 5,21	допустимая
IX	0,70	*0,82*	0,63	0,38x + 10,5	хорошая

Исходя из результатов полученного анализа можно рекомендовать гидропосты на реках Чон- и Кичи-Нарын закрыть, но при этом усовершенствовать и оснастить современными измерительными приборами и подготовленными кадрами гидропост «г. Нарын» и использовать его как аналог для восстановления и расчета расходов воды рек Чон- и Кичи-Нарын по полученным регрессионным связям.

4.3.2. Участок реки от гидропоста «г.Нарын» до гидропоста «с.Учтерек» и приток в Токтогульское водохранилище

На этом участке в р.Нарын впадает много крупных притоков Кёкджерты, Атбаши, Кёкёмерен, Алабуга и другие средние и небольшие, на которых в прошлом действовали гидрологические посты, впоследствии были закрыты. В настоящее время на этом участке с 1964 г. действует только один гидропост «с.Учтерек» входной в Токтогульское водохранилище.

Параллельный ряд наблюдений по всем гидропостам на реках составляет 12 лет (1976-1987). Средний годовой приток в водохранилище за эти годы составил 347 м^3/с, в процентном соотношение 85% приходится на р.Нарын, 7,7 на р.Узунахмат, 4,2 на р.Чичкан и 2,7 на р.Торкент. В последующие годы параллельных наблюдений на всех г/постах практически нет.

Расчетный период для восстановления отсутствующих данных по рекам, обеспечивающим приток в водохранилище, был взят с 1964 по 2017 гг. В качестве аналогов с длинным рядом наблюдений использованы данные по г/посту р.Нарын –«г.Нарын» и по р.Узунахмат (рисунок 4.23).

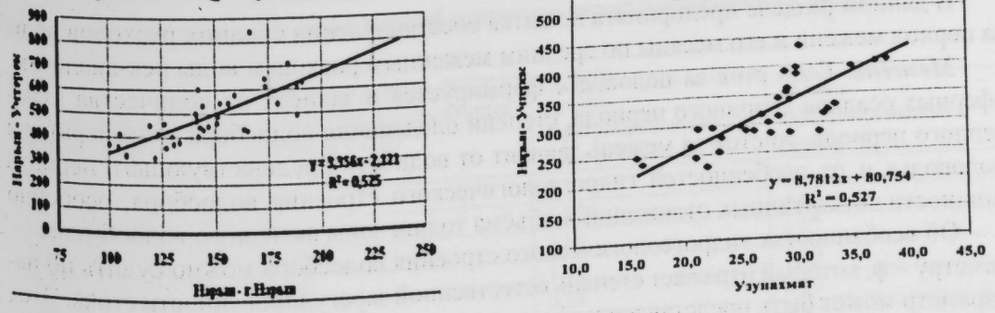


Рис. 4.23. Связь средних расходов за половодье рек Нарын-Учтерек с Нарын-г.Нарын и Узунахмат за период 1940-2017 гг.

Связи средних месячных расходов по р.Нарын-Учтерек с р.Нарын-г.Нарын и р.Узунахмат также допустимые и могут быть использованы для восстановления пропущенных данных. Средние расходы воды за половодье и месяцы по р.Чичкан можно с достаточной степенью точности восстановить по данным гидропоста на р.Узунахмат.

Аналог для восстановления стока р.Торкент не найден, поскольку эта река относится к снеговому типу питания с невысоким водосбором. И ни по каким параметрам не совпадает с реками данного региона.

На всех притоках р.Нарын (Кёкирим, Атбаши, Алабуга, Кёкемерен и других) г/посты также были закрыты. Средний сток за половодье (как и и средний годовой) по большинству притоков можно восстанавливать по уравнениям регрессии, описывающим связь с данными по г/посту «г.Нарын». В качестве примера приведены притоки р.Нарын – реки Кёкирим, Атбаши, Кёкёмерен (рисунок 4.24).

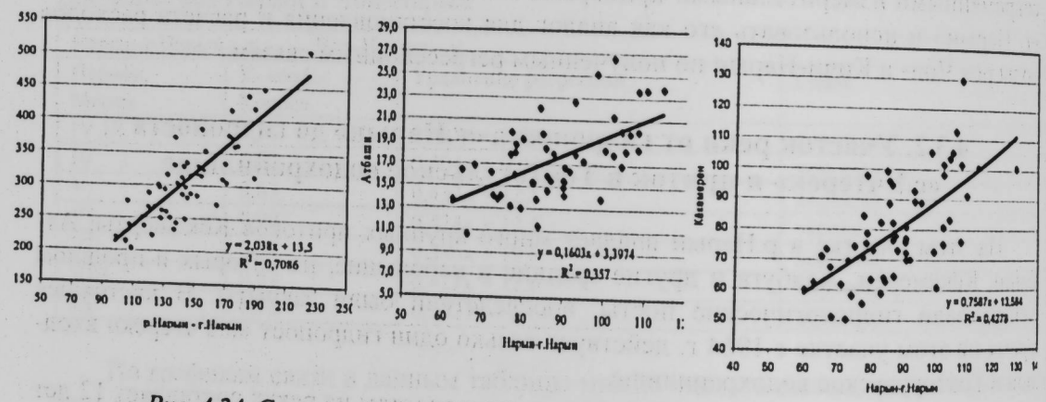


Рис. 4.24. Связь средних расходов за половодье рек Кёкирим, Атбаши, Кёкёмерен с рекой-аналогом Нарын –г.Нарын

5. Восстановление средних расходов воды за период межени (X-III) и его месяцы

5.1. Общая характеристика межени

В данном разделе предпринята попытка восстановления средних расходов воды за период межени и его месяцы по средним меженным расходам воды рек-аналогов.

Межень. Если сток за половодье формируется и зависит от количества атмосферных осадков холодного периода, степени оледенения водосбора и температуры теплого периода, то сток за межень зависит от водности предшествующего периода половодья и от особенностей гидрогеологического строения водосбора, особенно мощности четвертичных отложений и объёма толщи зоны активного водообмена.

Об особенностях гидрогеологического строения водосбора можно судить по параметру – φ, который отражает степень естественной зарегулированности стока. Этот параметр может быть представлен и рассчитан как кривая продолжительности (обеспеченности) суточных расходов воды, которая даёт представление о продолжительности стояния в течение года расходов воды, превышающих или равных данному.

Построение средней кривой продолжительности суточных расходов воды производится по средним за период наблюдений характерным расходам воды (максимальному, 30, 90, 180, 275, 355-дневному и минимальному).

Обобщенным показателем степени изменчивости стока в течение года и является коэффициент внутригодовой зарегулированности стока - φ, ***численно характеризующий долю устойчивого (базисного) стока в годовом его объёме.*** Величина этого коэффициента графически определяется как площадь, ограниченная сверху кривой продолжительности расходов (выраженных в модульных коэффициентах - К) и прямой линией, соответствующей среднегодовому расходу или значению К=1. На основе анализа формы кривых продолжительности суточных расходов построены средние (типовые) кривые для трех групп рек (рисунок 5.1).

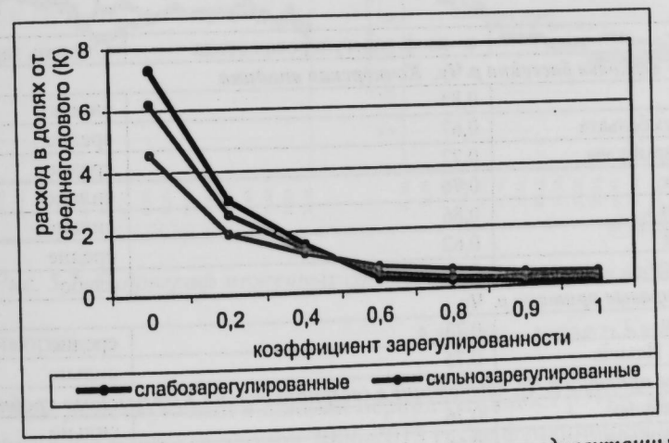


Рис. 5.1. Средние кривые продолжительности среднесуточных расходов воды рек различных групп

По степени зарегулированности стока реки Кыргызстана могут быть разделены на три группы: 1) слабозарегулированные φ < 0,60; 2) среднезарегулированные φ =0,60 – 0,75; 3) сильнозарегулированные φ > 0,75.

Средние значения коэффициента φ для изученных рек находятся в пределах 0,45 – 0,86. Значения ординат осредненных кривых продолжительности приведены в ниже следующей таблице.

Таблица 5.1. Осредненные значения ординат кривых продолжительности суточных расходов воды для рек с разной степенью зарегулированности стока

Продолжительность, в долях года	Расходы в долях от среднегодового		
	слабо-зарегулированные реки φ < 0,60	средне-зарегулированные реки φ=0,60 – 0,75	сильно-зарегулированные реки φ> 0,75
1	2	3	4
Максимум	7,30	6,20	4,57
0,08	3,05	2,60	1,97
0,25	1,56	1,41	1,29
0,50	0,39	0,58	0,79
0,75	0,23	0,38	0,62
0,97	0,14	0,29	0,47
Минимум	0,12	0,24	0,42

Общей зависимости коэффициента φ от физико-географических характеристик водосборов рек не прослеживается. Однако, отмечается связь с гидрогеологическими условиями, особенно мощностью четвертичных отложений, как наиболее водообильных из всех геологических горизонтов.

5.2. Чуйский бассейн

Как и в предыдущих разделах в Чуйском бассейне выделены три группы рек: Кочкорская впадина (верховья реки), правые и левые притоки. Значения коэффициента естественной зарегулированности стока рек бассейна приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2. Естественная зарегулированность стока рек Чуйского бассейна

Река - гидропост	φ –коэф. зарегулирован.стока	Степень зарегулирован.
1-я группа рек. – верховья бассейна р.Чу, Кочкорская впадина		
Чу – с.Кочкорка	0,84	сильно
Джуанарык- с.Кумбельата	0,67	средне
Каракуджур-с.Сарыбулак	0,72	средне
Тюлек-аул Тюлек	0,76	сильно
Кочкор-с.Кочкорка	0,86	сильно
Сусек-у.р.Ичкесай	0,62	средне
Каракол-у.р.Ирису	0,57	слабо
2-я группа рек - правые притоки р. Чу		
Чон-Кемин -устье	0,73	средне
Кичи-Кемин-свх. Ильича	0,75	сильно
3-я группа - левые притоки р.Чу, стекающие с северного склона Кыргызского хребта		
Кызыл-Суу-с. Бакбулак	0,76	сильно
Шамси – лесной кордон	0,65	средне
Кегеты – лесной кордон	0,62	средне
Иссык-Ата – с.Юрьевка	0,70	средне
Аламедин – устье р.Чункурчак	0,60	средне
Чункурчак- устье	0,76	сильно
Алаарча – устье р.Кашка-Суу	0,61	средне
Джеламыш клх. им. Чапаева	0,78	сильно
Ак-Суу – с.Чон-Арык	0,64	средне
Сокулук–с. Белогорка	0,61	средне
Кара-Балта- с.Сосновка	0,66	средне
Чон – Кайинды- с.Чон-Кайинды	0,63	средне
Джарды-Каинды-с. Ортоарык	0,65	средне
Аспара-пгт. Гранитогорск	0,59	слабо

5.2.1. Реки верховья бассейна р.Чу, Кочкорская впадина

Характерной особенностью режима стока р.Чу в Кочкорской впадине является высокая степень естественной зарегулированности, связанная с обилием грунтовых (подземных) вод в мощных толщах четвертичных отложений. Коэффициент естественной зарегулированности стока - φ составляет 0,84 и численно характеризует долю устойчивого (базисного) стока в годовом объёме внутригодового стока. Для сравнения на рисунке 5.2 показаны гидрографы стока меженного периода рек Чу-с.Кочкорка и Алаарча-у.р.Кашкасу с разной степенью естественной зарегулирова-

сти. На гидрографе стока р.Чу в октябре-ноябре отмечается второй осенний паводок, формирующийся за счет выклинивания подземных вод из зоны активного водообмена четвертичных отложений.

На гидрографе р.Алаарча отмечается постепенный спад, который в марте достигает минимального значения, т.е. гидрограф представляет собою кривую истощения подземного стока.

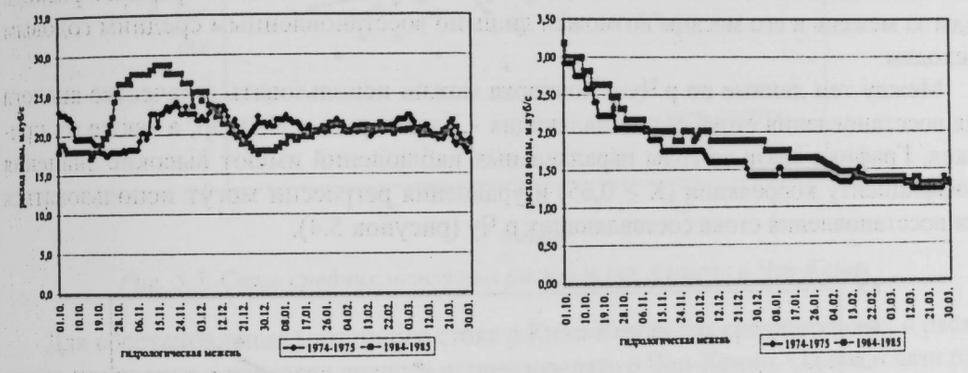


Рис. 5.2. Гидрограф меженных среднесуточных расходов воды

Чу- с.Кочкорка Алаарча – устье р.Кашка-Суу

Единственный действующий в данный период гидропост р.Чу-с.Кочкорка (входной в Орто-Токойское вдхр.), в период 2006-2013 гг. не функционировал и имеющиеся пропуски в наблюдениях восстановлены по реке-аналогу р.Джергалан –с.Михайловка.

Связи стока р.Чу с аналого слабые, коэффициенты корреляции низкие как за весь период наблюдений, так и за отдельные сравниваемые периоды (рисунок 5.3).

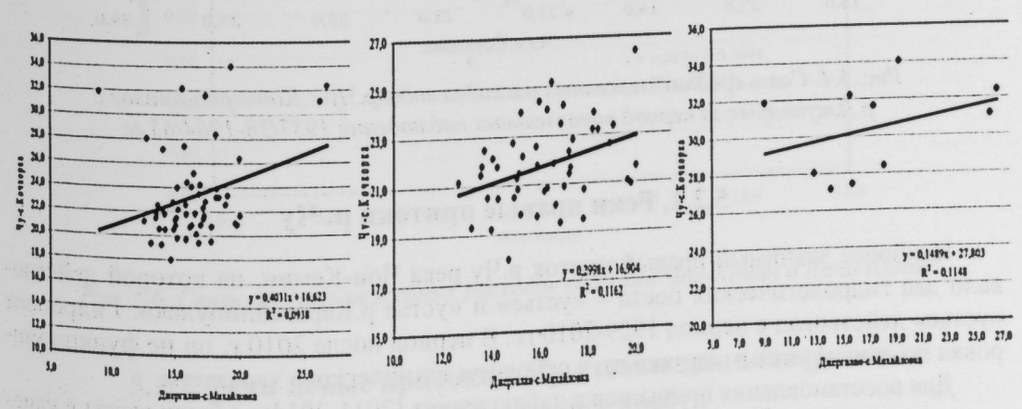


Рис. 5.3. Связи средних меженных расходов воды рек Чу-с.Кочкорка и Джергалан-с.Михайловка за разные периоды

1937/38-2004/05 1937/38-1991/92 1992/93-2004/05

Коэффициент корреляции связей с р.Джергалан равен 0,31-0,32, что делает восстановление меженного стока по данному аналогу неприемлемым. Также не дали положительных результатов связи р.Чу-с.Кочкорка с другим аналогом Чон-Кемин-устье. Связи слабые, коэффициент корреляции низкий.

Связи средних месячных расходов воды меженного периода (октябрь-март) по этим рекам также отсутствуют и восстановление стока за отдельные месяцы по данным аналогам невозможно. Можно сделать вывод, восстановление среднего расхода воды за межень и его месяцы возможен лишь по восстановленным средним годовым расходам.

Между тем данные по р.Чу-с.Кочкорка можно использовать в качестве аналога для восстановления стока её составляющих - Джуанарык и Кочкор, а также их притоков. Графики связи за годы параллельных наблюдений имеют высокие значения коэффициенту корреляции (К ≥ 0,65) и уравнения регрессии могут использоваться для восстановления стока составляющих р.Чу (рисунок 5.4).

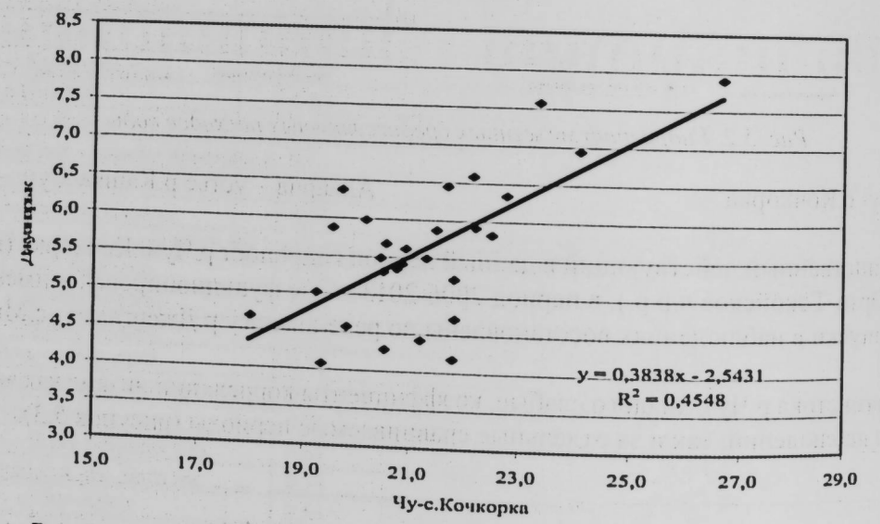


Рис. 5.4. Связь средних меженных расходов воды р.Чу-с.Кочкорка-аналог с р.Джуанарык за период параллельных наблюдений 1937/38-1964/65 гг

5.2.2. Реки правые притоки р. Чу

Наиболее значимый правый приток р.Чу река Чон-Кемин, на которой действовало два гидрологических поста – «устье» и «устье р.Карагайлибулак». Гидропост «устье» действовал в период 1929-2010 гг. В период после 2010 г. он не функционировал по самым разным причинам, в основном технического характера.

Для восстановления пропусков в наблюдениях (2011-2014гг.) были взяты в качестве аналога также реки Аламедин и Алаарча, однако связь не тесная, коэффициент корреляции не превышает 0,4-0,5, и уравнения регрессии не рекомендуются использовать для восстановления стока р.Чон-Кемин за межень и её месяцы. Для примера приведен рисунок связи средних меженных расходов воды рек Алаарча и Чон-Кемин. (рисунок 5.5).

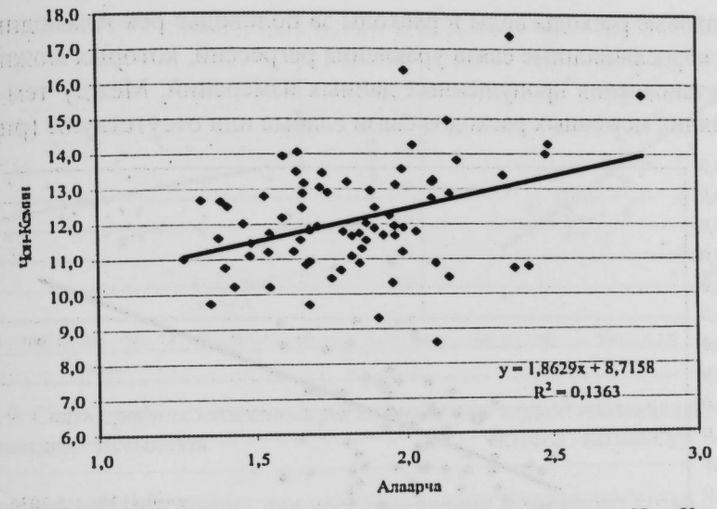


Рис. 5.5. Связь средних меженных расходов рек Алаарча и Чон-Кемин

Для восстановления меженного стока р.Кичи-Кемин для среднегодовых и расходов за половодье в качестве аналога использовалась р.Чон-Кемин. Однако связи расходов воды за межень и её месяцы слабые, коэффициенты корреляции низкие и использовать их для восстановления стока не правомерно. В качестве примера рисунок 5.6.

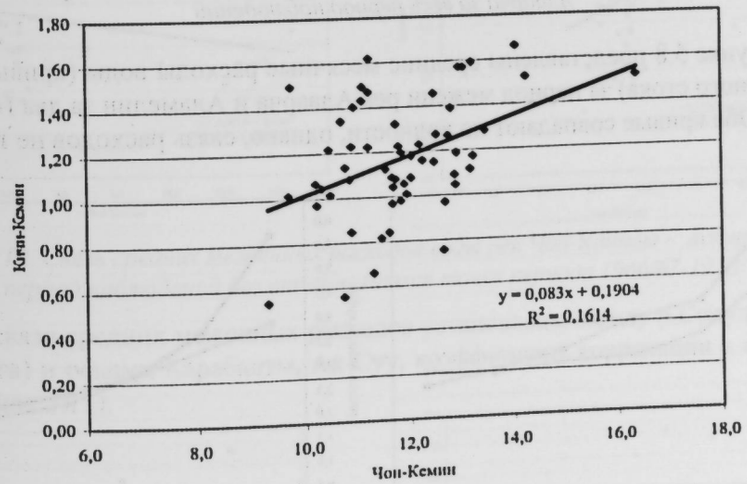


Рис. 5.6. Связь средних меженных расходов воды рек Чон-Кемин и Кичи-Кемин

5.2.3. Реки левые притоки р.Чу, стекающие с северного склона Кыргызского хребта

К этой группе относятся левые притоки р.Чу от Кызыл-Суу (на востоке) до Аспары на западе. В настоящее время гидрологические наблюдения ведутся только на реках Кегеты, Аламедин, Алаарча, Сокулук, Карабалты и Чон-Каинды, которые, как и в предыдущих разделах, были использованы в качестве аналогов.

Среднегодовые расходы воды и расходы за половодье рек Аламедин и Алаарча дают тесные корреляционные связи уравнения регрессий, которых можно использовать для восстановления пропущенных данных измерений. Между тем для восстановления средних меженных расходов связи слабые или отсутствуют (рисунок 5.7).

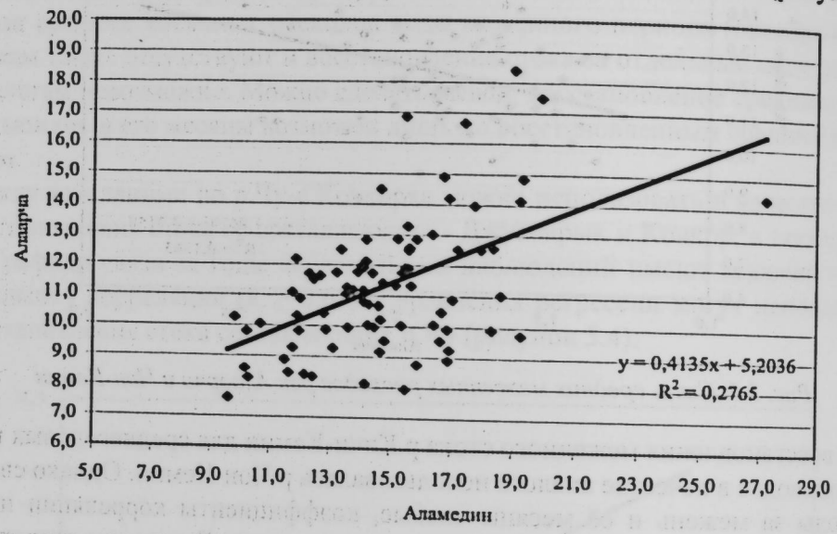
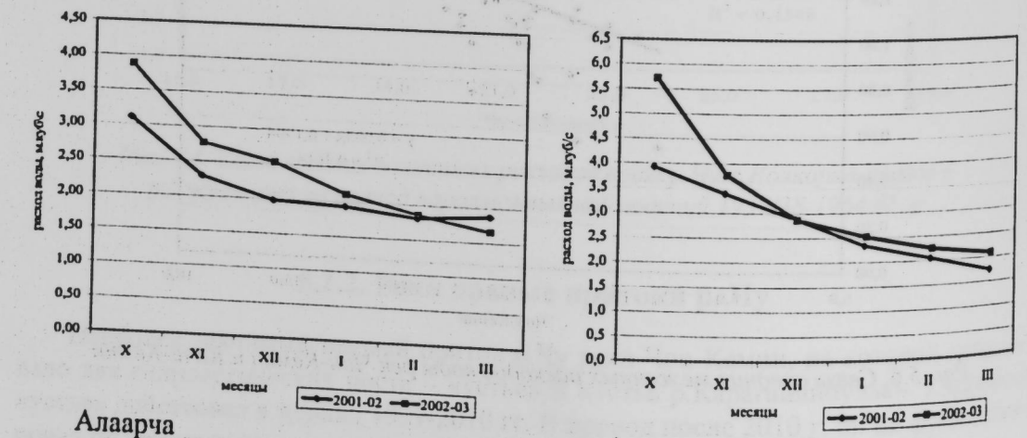


Рис. 5.7. Связь суммарного меженного стока рек Аламедин и Алаарча за весь период наблюдений

На рисунке 5.8 представлены средние месячные расходы воды (кривые истощения подземного стока) за период межени рек Алаарча и Аламедин за два года разной водности. Обе кривые совпадают по водности, однако, связь расходов не тесная.



Алаарча Аламедин

Рис. 5.8. Средние месячные расходы воды рек за межень (кривые истощения подземных вод в бассейнах этих рек)

Для восстановления стока р.Иссык-Ата в качестве аналога (как и в предыдущих разделах) использовались данные р.Аламедин, которые для восстановления меженных расходов дают слабые связи. Приемлемая связь (К=0,64) установлена между меженными расходами рек Кегеты (аналог) и Кызыл-Суу (рисунок 5.9).

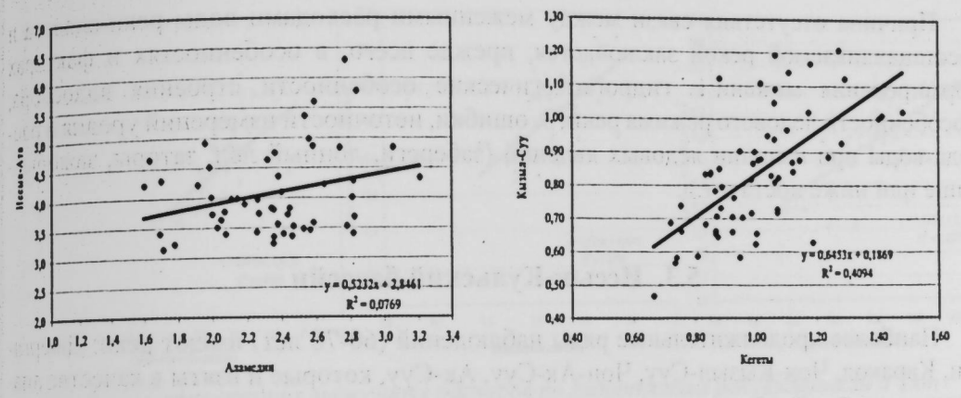


Рис. 5.9. Связь средних меженных расходов за весь период наблюдений рек
Аламедин - Иссык-Ата Кегеты - Кызыл-Суу

Использование р.Чон-Каинды для восстановления меженного стока р.Аспара не приемлемо, поскольку связь слабая, коэффициент корреляции низкий (рисунок 6.10).

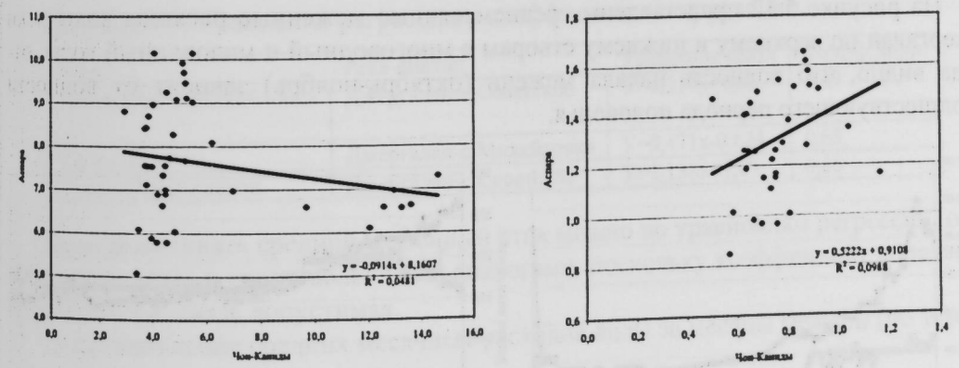


Рис. 5.10. Связь средних меженных расходов воды рек Чон-Каинды - Аспара за весь период наблюдений без отклонившихся точек периода 1966/67-1970/71

Слабые связи средних меженных расходов установлены между р.Сокулук (в качестве аналога) и реками Карабалты, Ак-Суу, коэффициент корреляции в пределах 0,4-0,5 (рисунок 5.11).

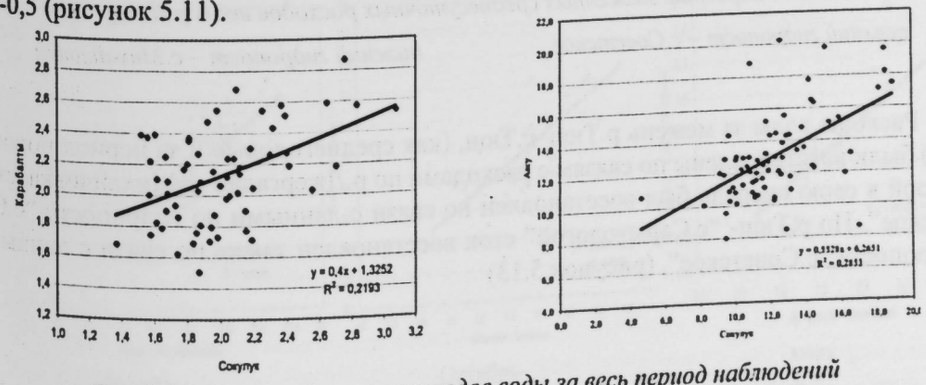


Рис. 5.11. Связь меженных расходов воды за весь период наблюдений
Сокулук- Карабалты К=0.46 Сокулук-Ак-Суу К=0,54

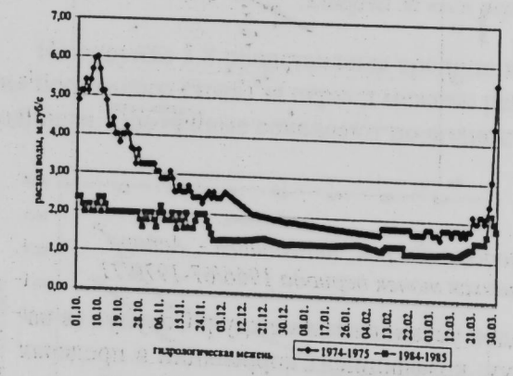
Причина отсутствия связи между меженными расходами воды реки-аналога и восстанавливаемой рекой заключается, прежде всего, в особенностях и факторах формирования межени:1. гидрогеологические особенности строения водосбора; 2.особенности ледового режима реки; 3. ошибки, неточности измерений уровня и расхода воды при наличии ледовых явлений (забереги, донный лёд, заторы, зажоры – выше или ниже поста и т.д.

5.3. Иссык-Кульский бассейн

Наиболее продолжительные ряды наблюдений (60-70 лет) имеют реки: Джергалан, Каракол, Чон-Кызыл-Суу, Чон-Ак-Суу, Ак-Суу, которые и взяты в качестве аналогов.

5.3.1. Группа рек – восточная часть бассейна - реки Тюп и Джергалан

На рисунке 5.12 представлены среднемесячные меженные расходы воды реки Джергалан по верхнему и нижнему створам в многоводный и маловодный годы, откуда видно, что водность начала межени (октябрь-ноябрь) зависит от водности пердшествующего периода половодья.



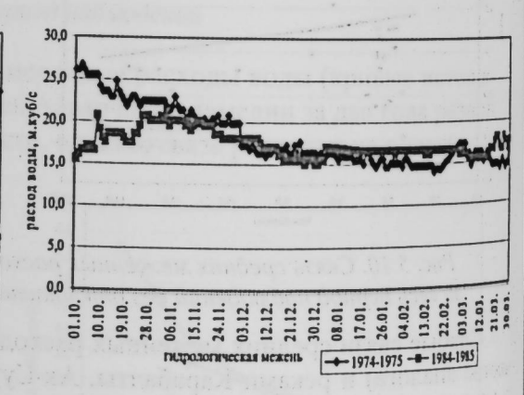


Рис. 5.12. Гидрограф меженных среднесуточных расходов воды р.Джергалан

верхний гидропост – с.Советское *нижний гидропост – с.Михайловка*

Расходы воды за межень р.Тюп–с.Тюп, (как среднегодовые и за период половодья) были восстановлены по связям с расходами по р.Джергалан -с.Михайловка, сток которй в свою очередь был восстановлен по связи с данными по гидропосту "с.Советское". По р.Тюп- "с.Сарытологой" сток восстановлен также по связи с данными гидропоста "с.Советское", (рисунок 5.13)

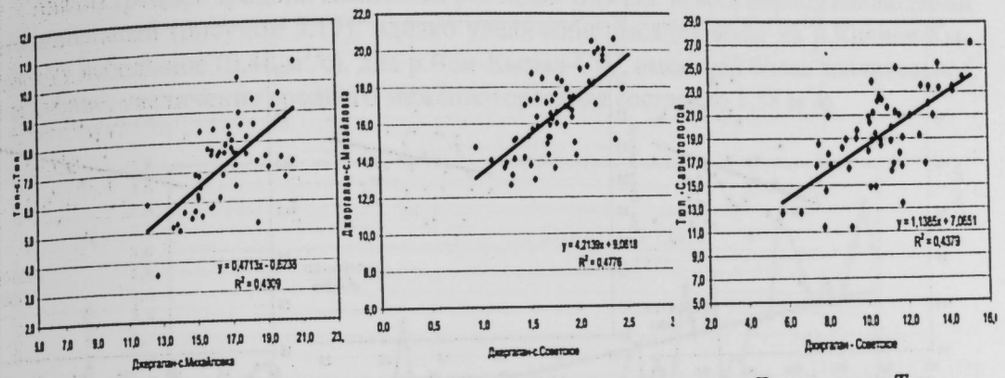


Рис. 5.13. Связи средних меженных расходов по гидропостам рек Джергалан и Тюп

Джергалан-с.Михайловка Тюп-с.Тюп — Джергалан – гидропосты "Советское" и Михайловка — верхние гидростворы рек Тюп и Джергалан

Уравнения регрессии и качество полученных связей представлены в таблице 5.3.

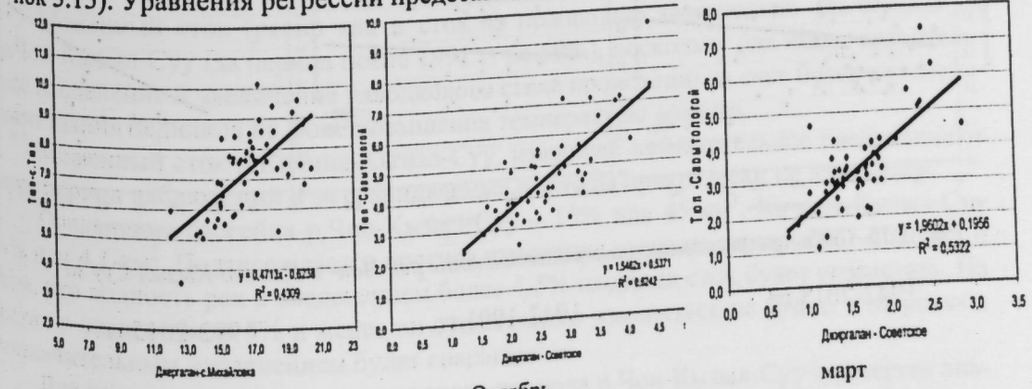
Таблица 5.3. Уравнения регрессии и коэффициенты корреляции.

Река	Река-аналог	Уравнение связи	Коэфф. корр.
Джергалан-с.Михайловка	Джергалан-с.Советское	У=4,214х+9,06	0,69
Тюп-с.Тюп	Джергалан-с.Михайловка	У=0,471х-0,624	0,65
Тюп-с.Сарытологой	Джергалан-с.Советское	У=1,138х+7,07	0,66

Восстанавливать средний меженный сток можно по уравнениям регрессии, описывающим связь с представленными аналогами, поскольку коэффициент кореляции более 0,65, т.е. связь допустимая.

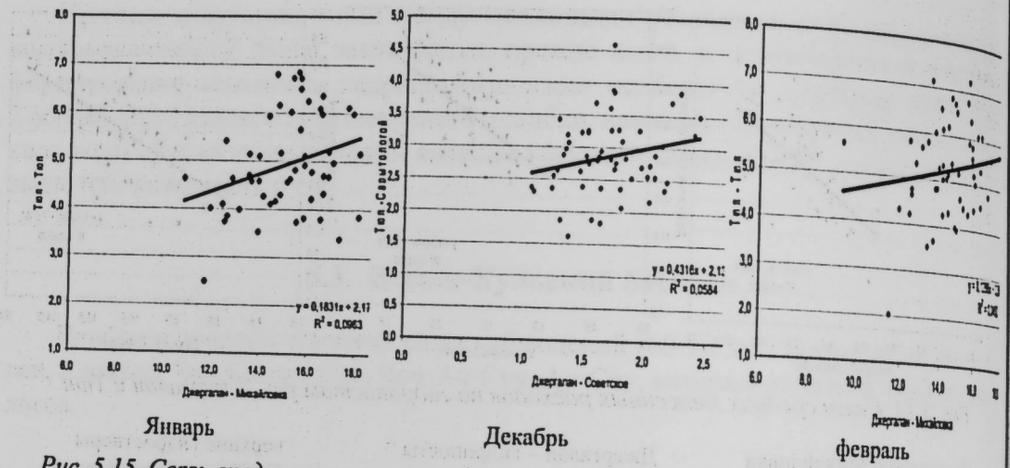
Восстановление средних месячных расходов воды за месяцы межени (по тем же аналогам) дали разноречивые связи.

Так тесные связи с высоким коэффициентом корреляции для октября, ноября, марта месяцев: октябрь– 0,79, ноябрь – 0,67, март – 0,74 (рисунок 5.14), и нет практически связей для января, февраля месяцев, коэффициент корреляции 0,30-0,22, (рисунок 5.15). Уравнения регрессии представлены в таблице 5.4.



Ноябрь Октябрь март

Рис. 5.14. Связь средних месячных расходов воды реки Джергалан и Тюп – с.Тюп



Январь Декабрь февраль

Рис. 5.15. Связь среднемесячных расходов вода рек Джергалан и Тюп (верхние створы)

Таблица 5.4. Уравнения регрессии по верхним гидропостам

Река, гидропост	Река-аналог, гидропост	Уравнение регрессии		
		октябрь	ноябрь	март
Тюп-с.Сарытологой	Джергалан-с.Советское	y= 1,546x+0,54 K=0,79	y=1,222x 1,12 K=0,67	y=0, 96x+0,296 K= 0,74

5.3.2. Реки, стекающих с северного склона хребта. Тескей-Ала-Тоо

Подбор рек-аналогов для восстановления расходов воды за межень и его месяцы не дал положительных результатов (рисунок 5.16).

Коэффициенты корреляции за весь период наблюдений и сравниваемые периоды невысокие в пределах 0,20-0,40, т.е. связь практически отсутствует.

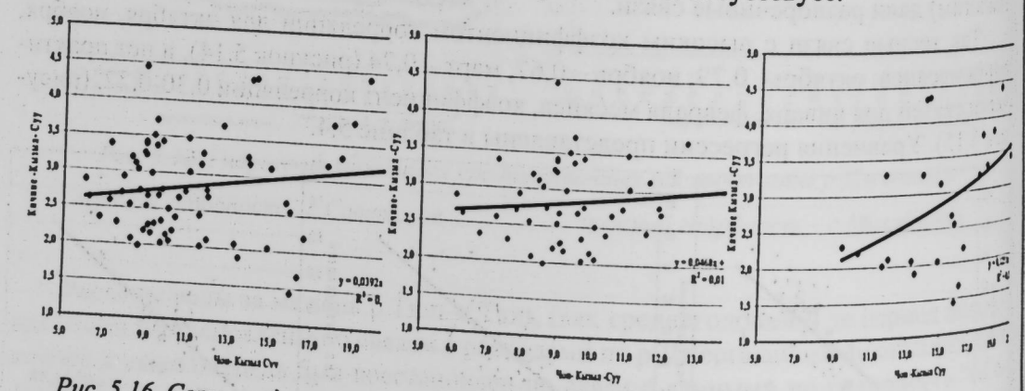


Рис. 5.16. Связь средних меженных расходов воды рек Чон- и Кичине-Кызыл-Суу за

1942-2015 гг. 1942-1991 гг. 1992-2015 гг.

Анализ трендов средних меженных расходов этих рек за весь период наблюдений положительный (рисунок 5.17), однако увеличение расхода воды на р.Кичине-Кызыл-Суу небольшое (0,48 м^3/с), для р.Чон-Кызыл-Суу, имеющей более значительное оледенение, увеличение среднего меженногорасхода составило 1,58 м^3/с.

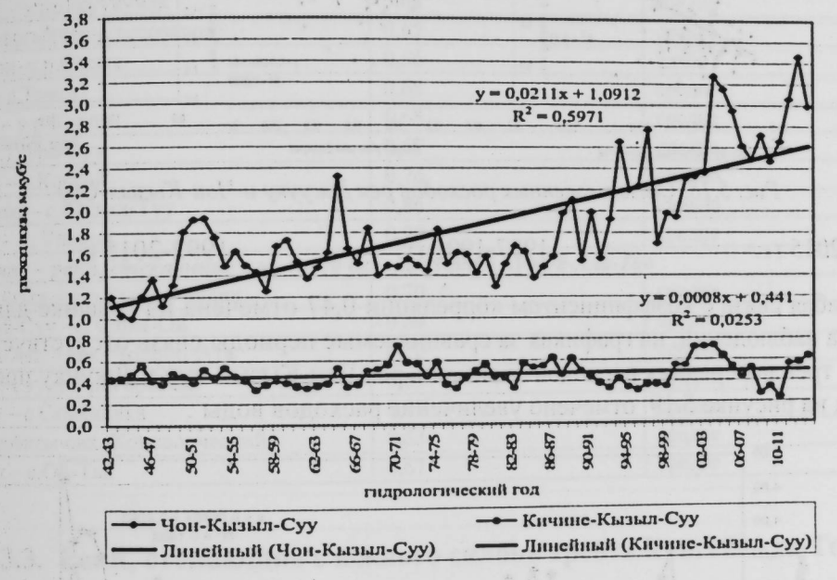


Рис. 5.17. Тренды средних меженных расходов рек Чон- и Кичине-Кызыл-Суу

В ниже следующей таблице приведены значения среднего меженного стока за весь период наблюдений и за сравниваемые периоды до 1991 г. и 1992-2017 гг.

Таблица 5.5. Средние меженные расходы воды за разные периоды

Река	Расчетный период		
	1942/43-2016/17	1942/43-1990/91	1991/92-2016/17
Чон-Кызыл-Суу	1,58	1,86	2,51
Изменение расхода м^3/с и %		0,28/18	0,93/59
Кичине-Кызыл-Суу	0,47	0,47	0,47

Меженный сток (равно как и сток за половодье) значительно увеличился на р.Чон-Кызыл-Суу (за период после 1991 г. на 59%), поскольку она имеет значительное оледенение и увеличение паводкового стока происходит за счет более интенсивного таяния ледников на фоне повышения температуры воздуха.

Меженный сток р.Кичине-Кызыл-Суу, имеющей незначительное оледенение за весь период наблюдений и за сравниваемые периоды практически не изменился.

Оледенение бассейна р.Чон-Кызыл-Суу – 15% или 45 км^2, Кичине-Кызыл-Суу 4% или 4,1 км^2. Подтверждается прогноз изменения стока на период 2001-2020 гг., о том, что водность рек с оледенением более 4-5% площади сток будет возрастать. На реках с оледенением 4% и менее он существенно изменяться не будет, а на реках с незначительным оледенением будет сокращаться.

Для восстановления стока меженного периода р.Чон-Кызыл-Суу в качестве аналога была взята р.Джууку (как для среднегодовых и за половодье) (рисунок 5.18).

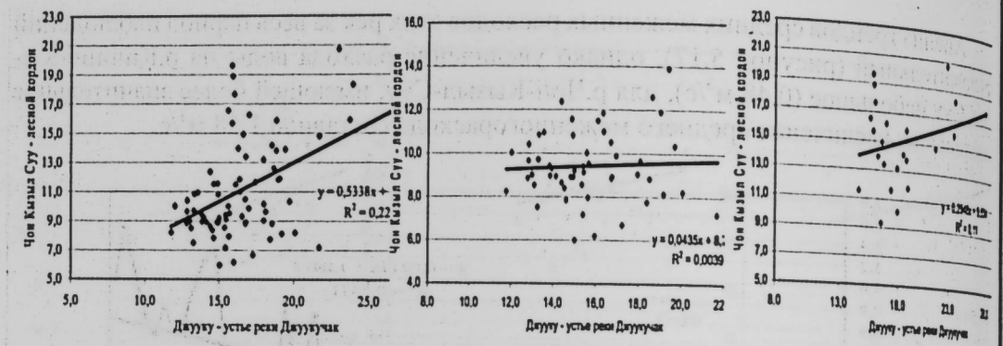


Рис. 5.18. Связь меженных расходов рек Джууку и Чон-Кызыл-Суу

1937-2015 гг. 1937-1991 гг. 1992-2015 гг.

Слабая связь с коэффициентом корреляции 0,47 отмечена на графике для всего периода наблюдений, на графиках за сравниваемые периоды связь отсутствует.

На трендах средних расходов за межень рек Чон-Кызыл-суу и Джууку представленных на рисунке 5.19 отмечено увеличение расходов воды .

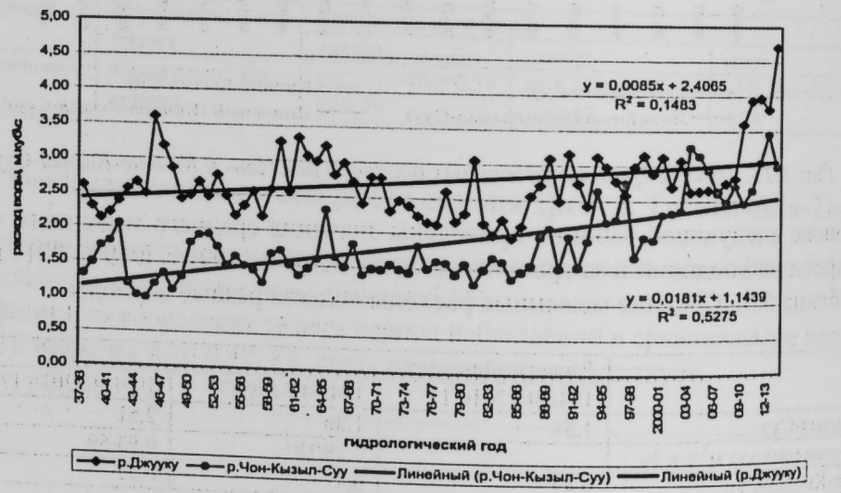


Рис. 5.19. Тренды меженных расходов воды рек Джууку и Чон-Кызыл-Суу за период 1937-2017 гг.

Естественная зарегулированность стока рек Иссык-Кульского бассейна представлена в таблице ниже.

Таблица 5.6. Естественная зарегулированность стока рек

Река	φ – коэф. зарегулирован.стока	Степень зарегулированности
1-я группа рек – восточная часть бассейна - реки Тюп и Джергалан..		
Тюп-с.Сарытологой	0,66	средне
Тюп – с.Тюп	0,80	сильно
Джергалан –с.Советское	0,66	средне
Джергалан – с.Михайловка	0,82	сильно
2-я группа – реки, стекающие с северного склона хр. Тескей-Ала-Тоо.		

Каракол – устье р.Кашка-Суу	0,61	средне
Ирдык-с. Ирдык	0,69	средне
Джеты – Огуз - пос.лесозавода	0,62	средне
Чон-Кызыл – Суу –лес.кордон	0,60	слабо
Кичине–Кызыл-Суу – Покровка	0,63	средне
Джууку – у.р.Джуукучак	0,62	средне
Чон-Джаргылчак-с.лесозавод	0,65	средне
Барскоон–у.р.Сасык	0,56	слабо
Тамга – с.Тамга	0,68	средне
Тоссор – у.р.Кодол	0,68	средне
Тон – с.Туура-Суу	0,67	средне
Ак-Сай – с.Коксай	0,76	сильно
Ак-Терек*– с.Кызыл-Туу	0,86	сильно
Турасу - с. Улахол	0,70	средне
3-я группа – реки, стекающие с южного склона хребта Кунгей-Ала-Тоо		
Тору-Айгыр – у.р.Кызыл-Булак	0,70	средне
Чон-Кой-Суу –с. Сары-Ой	0,69	средне
Чолпон-Ата – свх. Чолпон-Ата	0,70	средне
Чон-Ак-Суу- с.Григорьевка	0,67	средне
Ак-Суу – с.Семеновка	0,69	средне
Чон–Орюкты-свх. Коневодческий	0,63	средне
Ой-Тал – с.Ой-Тал	0,67	средне

5.3.3. Реки, стекающие с южного склона хребта Кунгей-Ала-Тоо

Это реки северного побережья: Тору-Айгыр, Чон-Кой-Суу, Чолпон-Ата, Чон-Ак-Суу, Ак-Суу, Чон – Орюкты, Ой-Тал. Гидрологические посты на всех представленных реках действующие, но при этом почти по всем есть пропуски в наблюдениях и довольно продолжительные.

В качестве аналогов для восстановления стока за период межени и его месяцы были взяты реки Чон-Койсу (для рек с небольшими площадями водосборов и незначительным оледенением) и Чон-Ак-Суу для рек со значительным оледенением. В качестве примера приведен график связи рек Чон-Кой-Суу и Чолпон-Ата (рисунок 5.20).

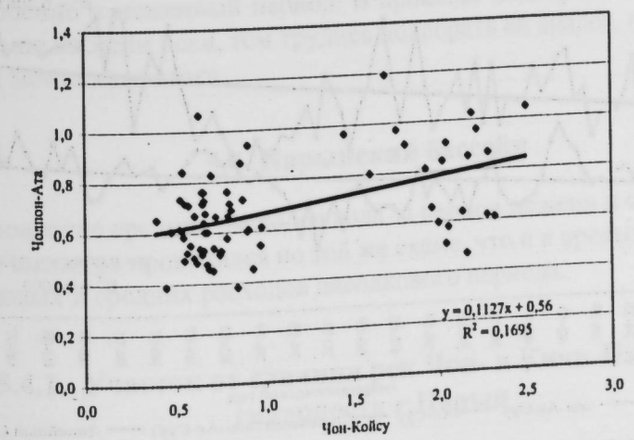


Рис. 5.20. Связь средних меженных расходов воды рек Чон-Кой-Суу и Чолпон-Ата за весь период наблюдений

Связь средних меженных расходов воды между рекой-аналогом и восстанавливаемой рекой отсутствует. Аналогичная картина и за сравниваемые периоды.

На данном графика выделяются две группы точек, левая – точки периода до 1992 г. правая – за период 1992-2017 гг.

На рисунке 5.21 показана связь меженных расходов реки-аналога Чон-Ак-Суу и р.Ак-Суу. Связь между расходами отсутствует, коэффициент корреляции составляет 0,35.

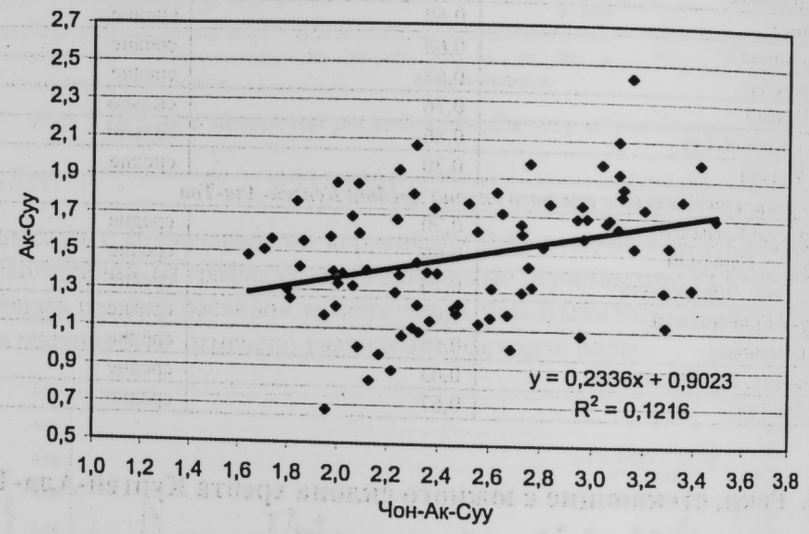


Рис. 5.21. Связь средних расходов за межень рек Чон-Ак-Суу и Ак-Суу

Анализ трендов средних меженных расходов воды этих рек положительный и составил за период наблюдений по р.Чон-Ак-Суу 0,6 м³/с, по р.Ак-Суу – 0,5 м³/с.

Сток периода межени зависит от стока половодья, увеличение которого на фоне повышения температуры воздуха и более интенсивного таяния ледников, обуславливает увеличение меженного стока (рисунок 5.22).

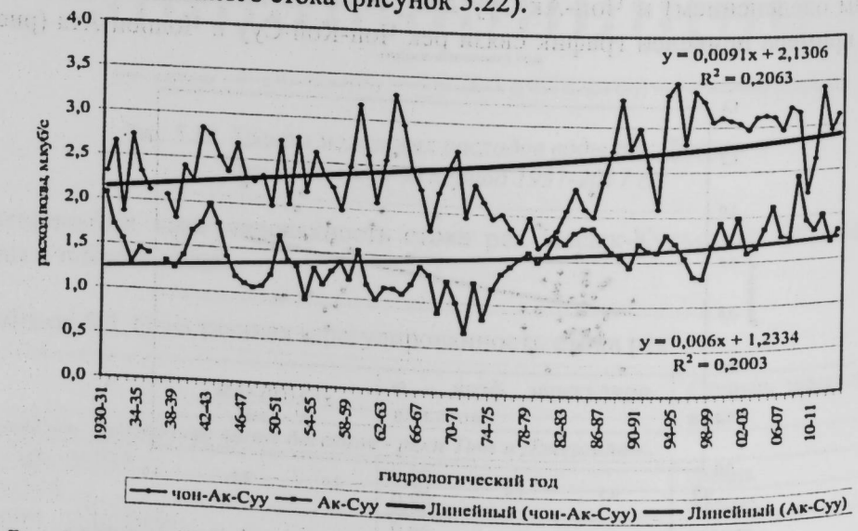


Рис. 5.22. Тренды средних меженных расходов воды рек Чон-Ак-Суу и Ак-Суу

Как и в предыдущих разделах для восстановления меженного стока р.Ойтал в качестве аналога была взята р.Чон-Урюкты. Как для связей среднегодовых расходов воды и периода половодья между этими реками, так и для периода межени графики построены для всего периода наблюдений, и для сравнения за периоды до 1992 г. и 1992-2017 гг. (рис. 5.23).

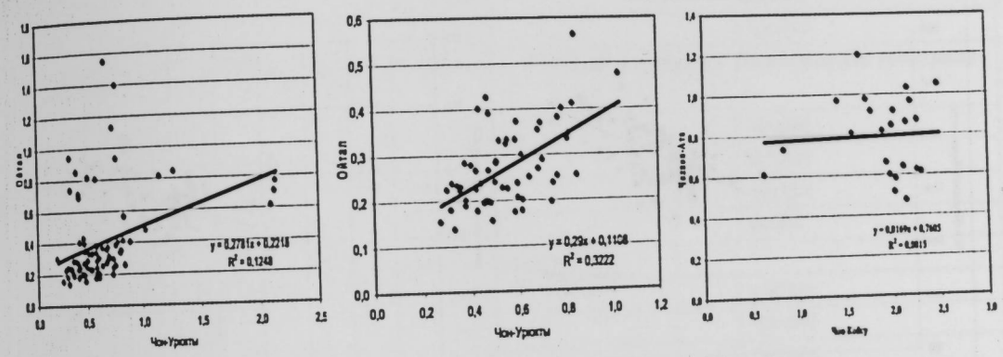


Рис. 5.23. Связи средних меженных расходов воды рек Чон-Урюкты (аналог) и Ойтал за сравниваемые периоды

1-период 1933/34-2016/17 2 - период 1933/34-1991/92 3-период 1992/93-2016/17

Из трёх графиков связь прослеживается лишь для периода до 1992 г., коэффициент корреляции 0,58 (не тесная, но связь есть). Сомнения вызывают данные наблюдений в период после 1992 г., где связь отсутствует. Причем причина такого разброса точек на графике можно объяснить только низким качеством наблюдений (измерение уровня и расходов воды), а также отсутствием контроля и анализа при подсчете среднесуточных расходов воды.

Для рек Тору-Айгыр, Кутурга и других более мелких рек практически без оледенения на водосборе аналоги не подобраны. Эти реки с небольшими водосборными площадями, снегового питания имеют довольно индивидуальный гидрологический режим и особенно в меженный период. В процессе подбора аналогов установлено, что чем меньше бассейн реки, тем труднее подобрать ей аналог, и особенно для восстановления меженного стока.

5.4. Нарынский бассейн

Восстановление средних расходов вода за период межени и его месяцы методом подбора рек-аналогов проводился по той же схеме, что и в предыдущих разделах для средних годовых и средних расходов паводкового периода.

5.4.1. Участок от слияния рек Чон- и Кичи-Нарын до гидропоста г.Нарын

Гидрологические посты на реках Чон-Нарын, Кичи-Нарын и Нарын-г.Нарын имеют продолжительный параллельный ряд наблюдений с 1940-2016 гг.

На составляющих реки Нарын Чон- и Кичи-Нарын ряды наблюдений имеют пропуски, которые (как и в предыдущих отчётах по среднегодовым и расходам за половодье) восстанавливались по связи с расходами воды по г/посту «г.Нарын» (рисунок 5.24). Однако полученные связи меженных расходов для этих рек не тесные, коэффициент корреляции равен 0,61 и 0,55, уравнения регрессия для восстановления пропущенных данных не приемлемы.

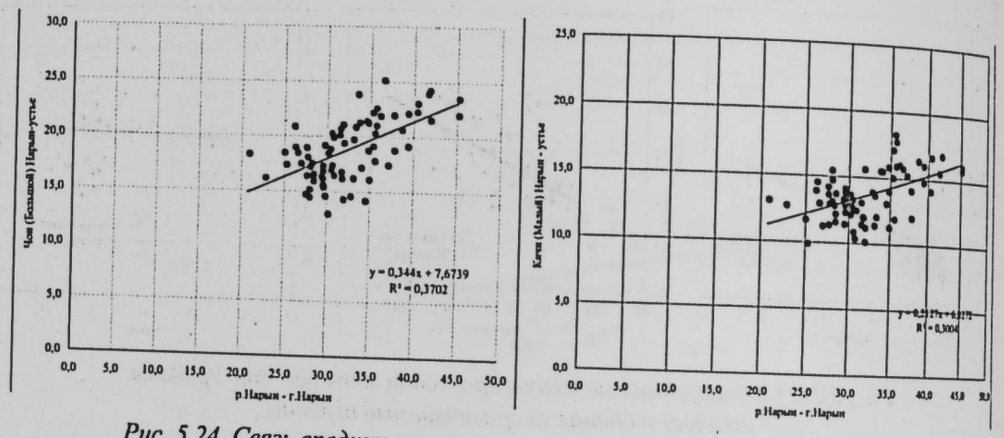


Рис. 5.24. Связь средних меженных расходов воды р. Нарын-г.Нарын

Чон-Нарын Кичи-Нарын

Также слабые связи и между средними месячными расходами воды меженного периода (октябрь-март). Для примера на рисунке 5.25 показаны связи для октября. Для других месяцев (особенно декабря-февраля, когда имеют место ледовые явления) связи практически отсутствуют, коэффициенты корреляции между среднемесячными расходами воды за декабрь-март невысокие от 0,39 до 0,18, т.е. связь отсутствует.

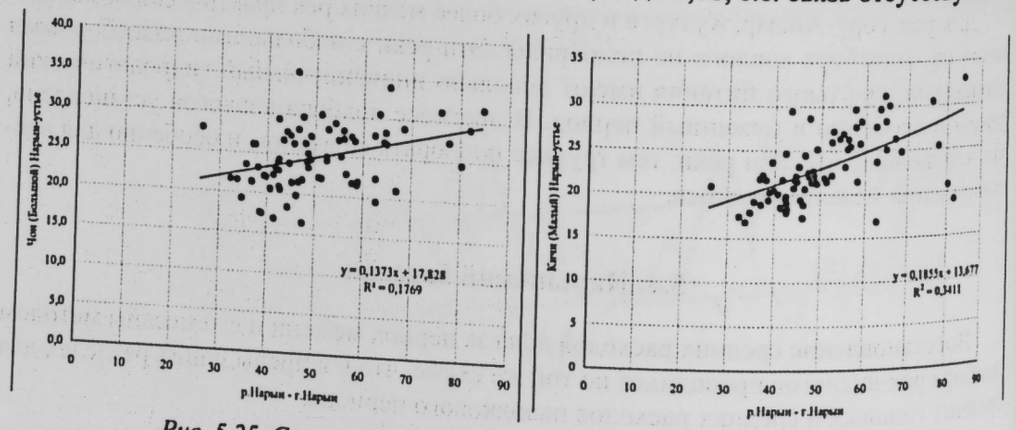


Рис. 5.25. Связь средних месячных расходов воды октября рек Нарын и Чон- и Кичи-Нарын

Уже отмечалось в предыдущих разделах, что в формировании меженного стока немаловажную роль имеет естественная зарегулированность стока рек (φ), сведения по которой приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7. Естественная зарегулированность стока рек Нарынского бассейна

Река – гидропост	φ – коэф. зарегулирован.стока	Степень зарегулированности
Участок от слияния рек Чон-Нарын и Кичи-Нарын до г.Нарын		
Чон-Нарын – устье	0,64	средне
Кичи-Нарын – устье	0,61	средне
Нарын – г.Нарын	0,62	средне
Участок реки от г/поста г.Нарын до г/поста с. Уч-Терек и приток в Токтогульское водохранилище		
Нарын-с.Уч-Терек	0,61	средне
Чичкан-5,5 км выше у.р.Бала-Чичкан	0,69	средне
Торкент- кишлак Торкент	0,62	средне
Узунахмат-устье р.Устасай	0,60	слабо
Река Нарын ниже Токтогульского вдхр. и её притоки		
Нарын –устье р. Кёкджерты	0,63	средне
Нарын-у.р.Кёкемерен	0,65	средне
Атбаши-кишл. Джангизтал	0,87	сильно
Кёкемерен-0,5 км ниже у.р.Джумгол	0,67	средне
Кёкджерты- хут. Актала	0,67	средне

В этой группе выделяются реки Атбаши – с сильно зарегулированным и Узунахмат – со слабо зарегулированным стоком, у остальных рек - средняя. В качестве примера на рисунке 5.26 представлена кривая истощения подземного питания р.Нарын-г.Нарын в годы различной водности, которая является показателем меженного стока и его месяцев.

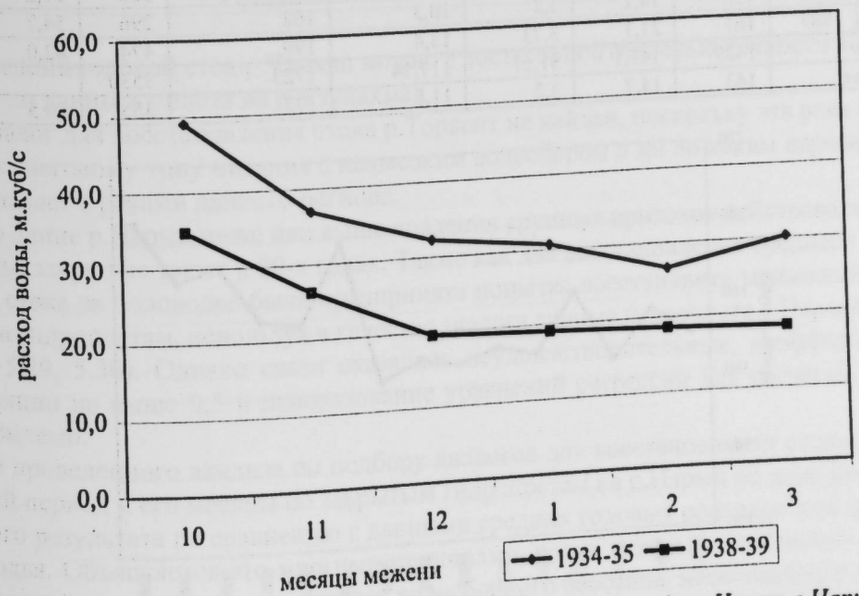


Рис. 5.26. Средние месячные расходы воды меженного периода р.Нарын-г.Нарын

5.4.2. Участок реки от гидропоста «г.Нарын» до гидропоста «с. Уч-Терек» и приток в Токтогульское водохранилище

На этом участке в р.Нарын впадает много крупных притоков Кёкджерты, Атбаши, Кёкёмерен, Алабуга, а также средние и небольшие, на которых в прошлом действовали гидрологические посты, закрытые после 90-х годов.

В таблице 5.8 и на рисунке 5.27 приведены средние меженные расходы воды по этим г/постам за параллельный период наблюдений (1978-1987) и суммарный приток в Токтогульское водохранилище. В накоплении запасов воды в водохранилище большое значение имеет сток меженного периода.

Параллельный ряд наблюдений на гидропостах рек, впадающих в водохранилище, составляет 10 лет (1978-1987 гг.). Средний годовой приток в водохранилище за эти годы составил 353 м^3/с, за межень –172 м^3/с или 49,5%, в процентном соотношение на Нарын приходится – 83, Узунахмат – 6,8, Чичкан – 8,5, Торкент- 1,8%.

Таблица 5.8. Приток в водохранилище за годы параллельных наблюдений (м^3/с)

№	Год	Нарын	Чичкан	Торкент	Узунахмат	приток		% межени от годового
						межень	год	
1	1978	141	15,4	4,0	9,54	170	366	46,4
2	1979	149	15,2	2,29	10,1	177	392	45,2
3	1980	141	11,6	2,38	9,8	164	333	49,2
4	1981	150	14,2	4,05	14,1	182	378	48,1
5	1982	139	11,3	2,88	13,8	167	271	61,6
6	1983	141	12,2	2,78	13,4	169	349	48,4
7	1984	133	17,6	2,84	12,2	166	345	48,1
8	1985	139	14,4	3,42	10,9	167	326	51,2
9	1986	135	14,1	3,2	10,3	162	296	54,7
10	1987	161	21,1	3,73	13,4	199	474	42,0
Сумма		1429	147,1	31,57	117,54	1723	3530	
Среднее		143	14,7	3,2	11,8	172	353	49.5

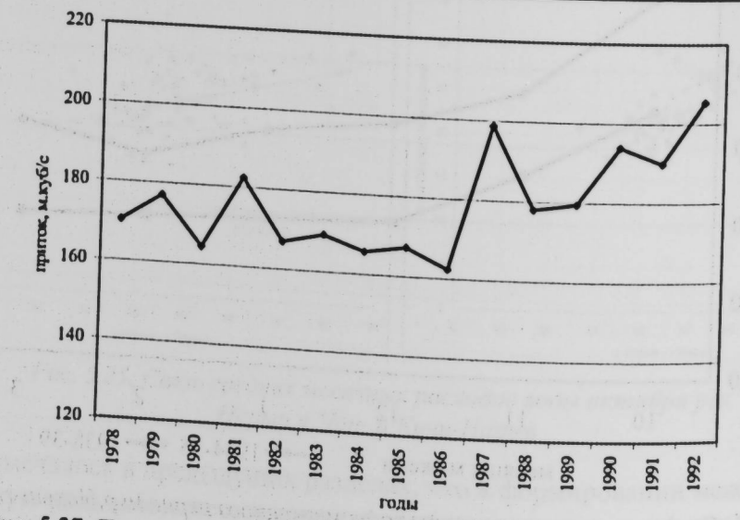


Рис. 5.27. Приток в Токтогульское водохранилище в период межени, за годы параллельных наблюдений

Расчетный период для восстановления отсутствующих данных по рекам, обеспечивающим приток в водохранилище, были взяты 55 лет (1964-2017 гг.), в качестве аналогов использованы данные гидропостов р.Нарын – «г.Нарын» и р.Узунахмат – устье р.Устасай. с длинным рядом наблюдений (рисунок 5.28).

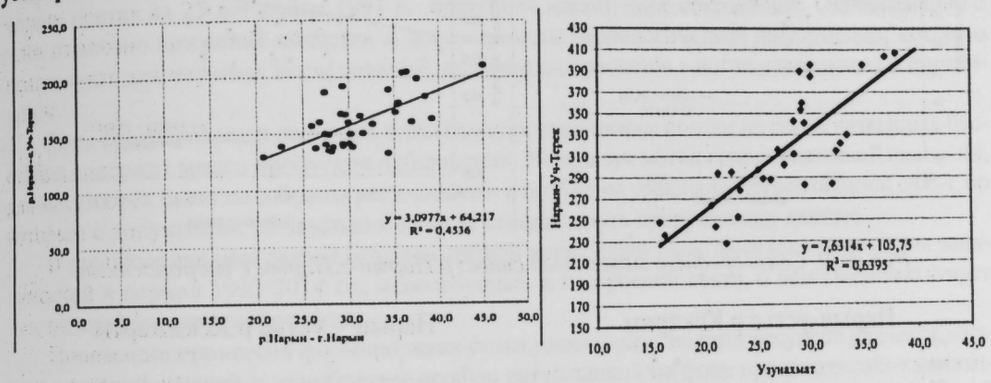


Рис. 5.28. Связи расходов воды р.Нарын-г.Нарын и Нарын-с.Уч-терек и Узунахмат

В ниже следующей таблице 5.9 приведены параметры и уравнения регрессии, описывающие связи (рисунок 5.28) с данными реки-аналога, которые можно использовать для восстановления пропусков в наблюдениях.

Таблица 5.9. Подбор аналога и уравнения связи

Река, гидропост	Река-аналог	Уравнение связи	Коэф. корреляции
Нарын –с.Учтерек	Нарын- г.Нарын	У=3,096х + 64,2	0,67
	Узунахмат	У=7,63х+105,8	0,80

Средний годовой сток р.Чичкан можно с достаточной степенью точности восстановить по данным г/поста на р.Узунахмат.

Аналог для восстановления стока р.Торкент не найден, поскольку эта река относится к снеговому типу питания с невысоким водосбором и ни по каким параметрам не совпадает с реками данного региона.

По длине р.Нарын ниже или выше впадения крупных притоков действовали гидропосты, закрытые также в 90-х годах. Также как для восстановления среднего годового и стока за половодье была предпринята попытка восстановить меженный сток по этим гидропостам, используя в качестве аналога данные гидропоста «.Нарын» (рисунки 5.29, 5.30). Однако связи оказались неудовлетворительные, коэффициенты корреляции не выше 0,5 и использование уравнений регрессии для расчетов стока неприемлемо.

Из проведенного анализа по подбору аналогов для восстановления стока за меженный период и его месяцы по закрытым гидропостам на р.Нарын не дали положительного результата по сравнению с данными средних годовых расходов и за период половодья. Объясняется это многими причинами, среди которых: особенности гидрогеологических условий конкретного водосборного бассейна, несоблюдение требований измерения уровней и расходов воды при образовании ледовых явлений, а также низкое качество обработки гидрологической информации и подсчёта стока.

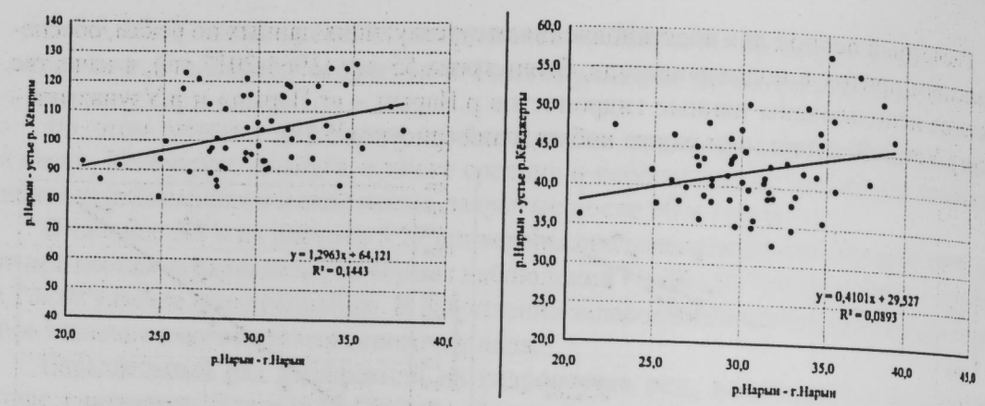


Рис. 5.29. Связь среднего меженного стока р.Нарын-г.Нарын с гидропостами

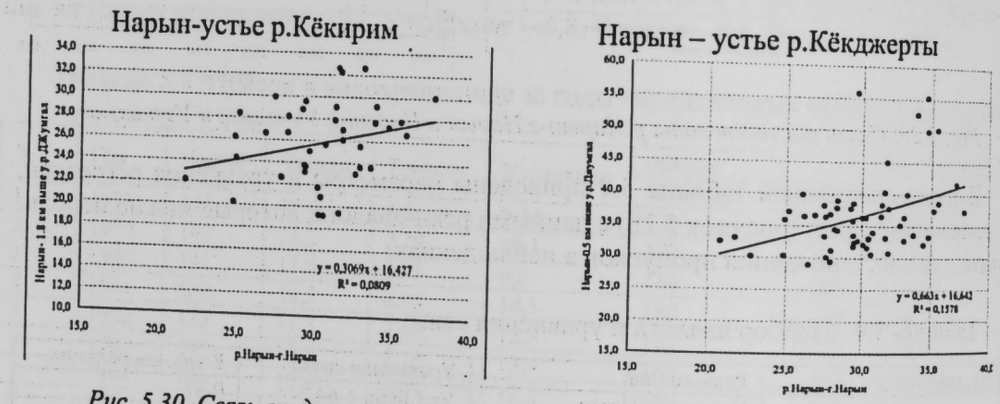


Рис. 5.30. Связь среднего меженного стока р.Нарын-г.Нарын с гидропостами

Нарын-1,8 км выше устья р.Джумгол Нарын – 0,5 км ниже устья р.Джумгол

Трендовый анализ средних меженных расходов воды по р.Нарын, её составляющим и притокам, показал положительную динамику (рисунок 5.31).

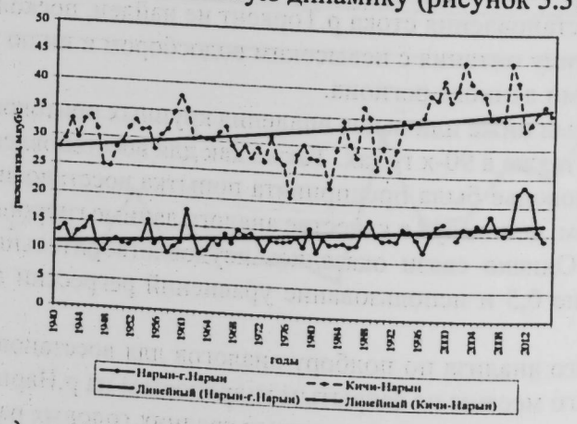


Рис. 5.31. Тренды средних меженных расходов воды рек Нарын и Кичи-Нарын

С такой же положительной динамикой тренды меженных расходов воды по данным гидропостов других рек Нарынского бассейна и особенно динамичный рост тренда после 1972 г.

Заключение

Результаты, полученные в процессе анализа гидрологической информации, по рекам Иссык-Кульского, Чуйского и Нарынского бассейнов, имеют научное и практическое значение. Гидрологический мониторинг, который проводит Кыргызгидромет на режимных гидрологических постах за 25 лет после 1991 г. претерпел масштабное сокращение. Одновременно с этим отмечено снижение качества и достоверности гидрологической информации, которую используют для научных исследований, инженерных расчетов многие учреждения и организации.

Ряды среднегодовых расходов воды по гидрологическим постам на реках названных бассейнов содержат много пропусков наблюдений. Используя метод гидрологической аналогии, для многих рек были подобраны реки-аналоги и получены уравнения регрессионной связи, по которым с допустимой точностью можно восстанавливать пропущенные данные.

В процессе анализа связей методом парной корреляции было выявлено нарушение зависимостей в период 1992-2014 гг., используемых в построении связи, о чем свидетельствует низкий коэффициент корреляции.

Понимание процессов формирования стока, мониторинг водных ресурсов является жизненно важной задачей и приобретает особую актуальность на фоне происходящих климатических изменений. Хорошо и четко отлаженная в течение прошлого века система наблюдений значительно сократилась и пострадала после распада Союза и единой гидрометеорологической службы.

Накопленные в прошлом веке данные гидрометеорологического мониторинга позволяют в какой-то мере анализировать и прогнозировать динамику водных ресурсов на современном этапе, и, в какой-то мере прогнозировать на будущее, т.е. что произойдёт с водными ресурсами в случае происходящего изменения климата.

Список использованных источников

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Монография. Бассейн оз. Иссык-Куль, рек Чу, Талас, Тарим. Т.14. Вып.2. - Л., Гидрометеоиздат 1972. 307 с.

2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Монография. Бассейн р.Сыр-Дарьи. Т.14. Вып.1. - Л., Гидрометеоиздат 1969. 439 с.

3. Щульц В.Л. Реки Средней Азии. Л., Гидрометеоиздат. 1965. 350 с.

4. Маматканов Д. М., Бажанова Л. В., Романовский В. В. Водные ресурсы Кыргызстана на современном этапе. - Бишкек: Илим, 2006. -276 с.

5. Бажанова Л.В.Влияние изменений климата на гидрологический режим рек высокогорной зоны (на примере р.Кашка-Тор в бассейне озера Иссык-Куль). Журнал «Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана». № 3, Бишкек 2018. с.186-191

6. Влияние изменений климата на горную экосистему Тянь-Шаня (на примере Иссык-Кульского и Чуйского бассейнов)/ – Бишкек: Ас-Нур, 2014.– 558 с

7. Бажанова Л.В., Сатылканов Р., Эрменбаев Б. «Динамика оледенения в условиях современного изменения климата на примере ледника Кара-Баткак, хребет Тескей Ала-Тоо» (Вестнике КРСУ, том 17, №5, Бищкек, 2017)

8. Маматканов Д.М., Бажанова Л.В. «Трансграничные водные ресурсы Центральной Азии и проблемы эффективного использования». Сборник материалов III Всероссийской научной конференции «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии» (Труды III Всероссийской конференции с международным участиес, Россия г.Барнаул. 2017 г.).

9. Бажанова Л.В. Оценка современного гидрологического мониторинга и рекомендации по его оптимизации (публикация в материалах МНПК «Технические средства мониторинга гидротехнических сооружений», Вестник КРСУ, 2017 г.).

10. Ершова Н.В., Фролова Г.П., Атаманова О.В. Особенности водного режима реки Ала-Арча на территории национального природного парка Ала-Арча в Кыргызстане // «Научные труды национального парка «Хвалынский» выпуск 13 Саратов-Хвалынск 2021. -с 167-172.

11. Ершова Н.В. Изменение стока рек Чуйского бассейна Кыргызстана в условиях потепления климата// Технические средства мониторинга гидротехнических сооружений и экологическая безопасность среднеазиатского региона: сб.научн. трудов. –Бишкек, 2018. с. 143-151

12. Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. Л., Годрометеоиздат, 1979 - 431 с.

13. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. - Л.: Гидрометеоиздат, 1974. - 424 с.

14. Бажанова Л.В. «Оценка гидрологического мониторинга и восстановление стока методом парной корреляции». Журнал «Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана», № 3, Бишкек 2018. с.134-140.

15. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. - СПб.: ГГИ. 2005. -45 с

16. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. - СПб.: ГГИ. 2009. -193 с.

17. Мамбетова А.К., Ершова Н.В. Восстановление рядов гидрологических наблюдений для оценки годовых характеристик стока рек Иссык-Кульского бассейна Кыргызстана в условиях изменения климата //Современные техника и технологии в научных исследованиях. Сборник материалов XIII Международной конференции молодых ученых и студентов. Бишкек, 2021. С. 264-270.

18. Гидрологическая изученность Т.14, вып.1. Средняя Азия. Бассейн р.Сырдарьи. Л., Гидрометеоиздат. 1964. - С. 231

19. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.14. Вып. 2. Бассейны оз.Иссык-Куль, рек Чу, Талас, Тарим. Под ред. Большакова М.Н. - Л.: Гидрометеоиздат, 1973-307 с.

20. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.14. Вып.1. Бассейн р.Сыр-Дарьи. Под ред. Ильина И.А. - Л.: Гирометеоиздат, 1969. - 437 с.

21. Гидрологическая изученность. - Т.14, вып.2. Средняя Азия. Бассейн озера Иссык-Куль, рек Чу, Талас, и Тарим. - Л., Гидрометеоиздат. 1966. –205 с.

22. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Бассейн р.Сыр-Дарьи. Т.14. Вып.1. - Л.: Гидрометеоиздат, 1967, 1974, 1978, 1987.

23. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Бассейн оз. Иссык-Куль, рек Чу, Талас, Тарим. Т.14. Вып.2. - Л., Гидрометеоиздат, 1969, 1977, 1979, 1987.

24. Романовский В.В. и др. Энцеклопедический справочник «Всё об озере Иссык-Куль» 2-ое издание. Бишкек. 2014. 403 с.

25. Стрижанцева О.М. Ершова Н.В. Особенности динамики стока рек Нарынского бассейна в период изменения климата. Гидрометеорология, изменение климата и мониторинг окружающей среде: актуальные проблемы и пути их решения» - Ташкент, 2021. Т.2. -с.124-128.

26. Ершова Н. Гидрологические особенности рек Нарынского бассейна.//Вестник КГУСТА. Выпуск 3(37) 2012. –с. 179-184.

ГЛАВА 5. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНЫХ СИСТЕМ КЫРГЫЗСКОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Б. У. Абылмейизова; Н. В. Кенжебаева; Э. Т. Токторалиев; О. И. Элеманов; Дылдаев М.М.

В данном разделе представлены краткие результаты исследований с 2009 по 2015 годов по изучению эколого-географических аспектов устойчивого развития горных экосистем Северного и Центрального Тянь-Шаня на примере репрезентативных бассейнов р. Чон-Кызыл-Суу (рисунок 1.1.), р. Ала-Арча и р. Сары-Джаз.



Рис. 1.1. Северный склон Терской Ала-Тоо (экосистемы бассейна р. Чон-Кызыл-Суу)

Данная тематика является продолжением исследований, связанных с изучением динамики границ почвенно-растительных поясов, в зависимости распространения растительного покрова и его видового богатства от степени и типа увлажнения. Подобные исследования проводились еще в 50-60 гг XX столетия на базе Тянь-Шанской физико-географической станции (в настоящее время переименована в ТШВНЦ – Тянь-Шаньский высокогорный научный центр при Институте Водных проблем и гидроэнергетики НАН КР). Продолжительные исследования на одних и тех же реперных участках имеют с географической и экологической точки зрения большую ценность и будет содействовать комплексному развитию водосборных районов.

Кроме реализации бюджетного проекта были выполнены проекты по хоздоговору. Одним из таких проектов является проект по теме: «Влияние изменений климата на водные объекты (ледники, реки и подземные воды) и биоразнообразие в бассейне реки Чон-Кызыл-Суу», в котором один из разделов посвящен биогеографическим исследованиям. Срок реализации проекта 2010-2011 гг. Целью биогеографических исследований явилось выявление воздействия климата на биоразнообразие фитоценозов горных экосистем бассейна р. Чон-Кызыл-Суу за последние 50 лет.

1. Климатические условия горных экосистем пилотных бассейнов рек северного и центрального Тянь-Шаня

Горная система Тянь-Шаня, располагаясь в центре Евроазиатского материка, теоретически может испытывать влияние всех четырех океанов окружающих этот материк, но отгороженность от Индийского и преобладание западного переноса сводят на нет влияние Тихого океана. Поэтому, основные циркуляционные процессы связаны с вторжением, идущими со стороны Атлантического и Ледовитого океанов, а также с циклонической и антициклонической деятельностью своим происхождением обязанной континентальным воздушным массам. В зависимости от сезона года изменяется частота повторяемости и тип синоптического процесса.

Колебания климата в XIX - XX в. можно определить на основе обработки прямых метеорологических измерений. В настоящее время имеются многочисленные свидетельства того, что потепление, последовавшее за малым ледниковым периодом, продолжалось в конце XIX в - первой половине XX в. Это не только отступание горных ледников в Европе, Северной Америке и Азии, но и обработанные ряды метеорологических измерений за 100 лет [1]. По последним оценкам МГЭИК (Межправительственная группа экспертов по изменению климата) за истекшее столетие средняя температура приземного слоя воздуха для Земли в целом возросла на 0,6±0,2°С, количество атмосферных осадков увеличилось на 5-10% в большинстве районов средних и высоких широт северного полушария. Для всей территории Кыргызстана средняя годовая температура в XX в. в пересчете на 100 лет возросла на 1,6°С, что значительно выше глобального потепления 0,6°С. Наибольшее потепление наблюдалось зимой (2,6°С), а наименьшее - летом (1,2°С). При этом, как по отдельным климатическим областям, так и станциям внутри областей, т.е. высотным зонам, оно существенно неодинаковым [2].

Наблюдаемые в настоящее время региональные изменения климата есть следствие его глобальных изменений [3-5]. На территории Кыргызстана четко выделяются 4 различные климатические области [6]: 1 - северный, северо-западный Кыргызстан (ССЗК); 2 – юго-западный Кыргызстан (ЮЗК); 3 - Иссык-Кульская котловина (ИКК); 4 - Внутренний Тянь-Шань (ВТШ), отличающиеся от административного деления.

1.1. Современный климат и тенденции его изменения на примере пилотных бассейнов рек Чон-Кызыл-Суу, Сары-Джаз и Ала-Арча

Современный климат, к которому часто относят климат всего нынешнего столетия, как и в прошлые эпохи, неоднозначен. Мы условились в связи с этим понимать под современным климатом отрезок времени после конца потепления 30—40-х гг., т. е. период 50—80-х годы. Но и в этом случае понятие «современный климат» остается в некоторой степени неадекватным, поскольку период жизни ныне здравствующего поколения приходится как бы на два или даже три периода с несколько различными климатическими условиями (период до 20— 30-х гг., период максимума потепления и период после 40-х гг.) [7]. При оценке тех или иных экстремальных природных явлений в прошлом важно иметь климатический (природный) аналог из современного периода, так же как это необходимо делать и при обратном сопоставлении.

Без таких аналогий трудно интерпретировать косвенные показатели климата, и в частности, очень образные, но все же носящие эмоциональный характер восприятия природных аномалий, описание которых содержится в русских летописях и других исторических хрониках. Наличие таких аналогов нужно и для адекватности оценок и сопоставления последствий климатических экстремумов.

Нельзя считать очевидным, что норма, рассчитанная за самый длинный период, всегда является лучшей. Вероятно, можно утверждать, что, по крайней мере, для многих практических целей норма должна быть наилучшей оценкой для последующего значения осредненной величины. Например, норма средней годовой температуры должна служить хорошей оценкой средней температуры следующего года. Однако, за последние 100 лет температура постепенно повышалась. Поэтому норма, основанная на наблюдениях за 100 лет, значительно ниже, чем большая часть средних годовых температур, наблюдавшихся в середине 20-го столетия. Исследование, выполненное некоторыми исследователями [8], показало, что наилучшей оценкой средней температуры последующего года служит средняя температура за 15-летний период. Поэтому использование этой средней (за 30 лет) даст лучшие результаты, чем использование нормы, рассчитанной за более длинный период. Аналогичный вывод получен и в отношении осадков.

1.1.1. Бассейн р. Чон-Кызыл-Суу

В исследуемом районе, в бассейне р. Чон-Кызыл-Суу хребта Терскей Ала-Тоо имеется только одна действующая метеорологическая станция, на котором ведутся постоянные метеорологические наблюдения за длительный период времени.

В таблицах 1.1. и 1.2. представлены среднемноголетние суммы осадков и температур воздуха. Как видно их таблиц, среднемноголетние суммы осадков в районе ГМС Кызыл-Суу колеблется от 386 до 433 мм в год, а среднегодовой температуры воздуха от 6,5 до 7,1 ^{0}С и происходит незначительное увеличение суммы осадков и повышение среднегодовой температуры воздуха.

Таблица 1.1. Нормы годовых сумм осадков по МС Кызылсуу за различные периоды

Станция	Периоды	Периоды				
		(1951-1980)	(1961-1990)	(1971-2000)	(1979-2008)	(1951-2008)
Кызыл-Суу	Годовая	386	405	413	433	411
	Теплый	285	312	310	326	307
	Холодный	101	93	103	107	104

Таблица 1.2. Нормы годовых температур воздуха по МС Кызылсуу за различные периоды

Станция	Периоды				
	(1951-80)	(1961-90)	(1971-2000)	(1979-2008)	(1951-2008)
Кызыл-Суу	6,5	6,7	6,8	7,1	6,8

Анализ многолетнего хода среднегодовых температур воздуха и годовых сумм осадков по трем метеостанциям, расположенных на разных высотах показал следующее:

- В низкогорном высотном поясе бассейна р. Чон-Кызыл-Су согласно тренду, построенному для периода с 1951-2009 гг., температура воздуха и осадки увеличивались, причем температура воздуха возрастала на много интенсивнее, чем осадки. Потепление климата низкогорий исследуемого района происходит за счет повышения температуры воздуха как в теплый, так и в холодный период. Наибольший процент осадков за весь период наблюдений выпало в теплый период года.

-В среднегорном высотном поясе тренд среднегодовой температуры воздуха для периода с 1948 по 2005 гг. составил 0,9^{0}С/57лет. Тренд годовых сумм осадков за весь период наблюдений имеет отрицательную величину -42мм/43 лет. Уменьшение осадков в основном происходило за счет теплого периода года, в холодный период тренд изменения осадков оказался положительным.

- В высокогорном высотном поясе тренд среднегодовой температуры воздуха, построенный для периода с 1956 по 2005 гг. - положительный, ровный, явного повышения температуры воздуха, как такового, не наблюдается. Хотя, температура воздуха за холодный период понизилась. Осадки в гляциально-нивальном поясе с 1957 по 1997 гг. уменьшились. Распределение атмосферных осадков в горах сложнее, чем температура воздуха, поэтому значения месячных осадков не были восстановлены. За не имением данных месячных сумм осадков по МС Кара-Баткак, мы не смогли определить за счет какого периода года наблюдалось снижение осадков [9].

Но, теме не менее, инструментальные наблюдения [10] измерений осадкомеров, располагавшихся на 5 различных высотных пунктах, показали, что с увеличением высоты возрастает количество осадков. Так, самое большое количество осадков зарегистрировал суммарный осадкомер, установленный в 1964 г. на леднике Ашу-Тор в бассейне реки Чон-Кызыл-Суу на высоте 3500 м [11]. По данным наблюдений за 19-летний период, годовая сумма осадков здесь составляет 1555 мм. А на станции Чон-Кызылсу, расположенной на высоте 2555 м среднегодовое выпадение сумм осадков составляет около 650 мм в год, причем основная часть осадков выпадает в мае-сентябре месяцах.

На основе значений среднемесячных температур воздуха за период с 1949-1968гг., полученных [12] на 5 пунктах измерений нами построен график (Рисунок 2), где мы наблюдаем, что температура воздуха с высотой меняется. Рассчитанный Дикиx А.Н., вертикальный температурный градиент между станциями Кызыл-Су и Большая Кызыл-Су составляла -0,80^{0}С, между станцией Большая Кызыл-Су и станцией у морены ледника Кара-Баткак – 0,36^{0}С, а средний для всего диапазона высот – 0,59^{0}С.

Используя среднее значение градиента высоты и данные инструментальных наблюдений станции Чон-Кызылсуу, мы получили предполагаемые значения среднемесячных и среднегодовых температур воздуха на каждые 100 м в высотном интервале от 2550 м до 3500 м над уровнем моря. В районе метеостанции Большая Кызыл-Суу на высоте 2550 м среднегодовая температура воздуха равна 0,2^{0}С. Отрицательная среднегодовая температура воздуха -0,2^{0}С начинает наблюдаться уже на высоте 2650 м и на высоте 3450 м она понижается до -3,0^{0}С (рисунок 1.2.).По данным [10] на леднике Кара-Баткак на высоте 3415 м она составляет -2,8 ^{0}С. [11].

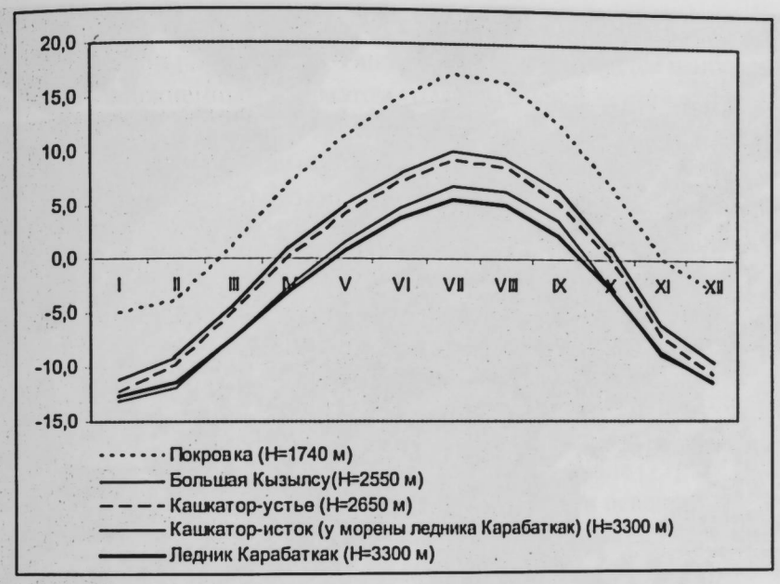


Рис.1.2. Среднемноголетнее внутригодовое распределение температур воздуха за 19 лет на различных высотах [9]

Последствиями климатических экстремумов являются аномальные природные явления, наблюдаемые в гляциально-нивальном поясе горных хребтов Тянь-Шаня. Так, в ходе экспедиционных работ в 2009 г. в бассейне р. Чон-Кызыл-Су сотрудниками Лаборатории горных экосистем (рисунок 1.3.) были выявлены аномальные явления в растительном покрове приледниковой зоны. У подножья ледника Кара-Баткак был обнаружен еловый подрост (рисунок 1.4.), что послужило причиной проведения анализа изменения колебания климата за последние 50 лет в данном бассейне по трем метеостанциям, расположенным на разных высотах.



Рис. 1.3. Экспедиция научных сотрудников ЛГЭС на ледник Кара-Баткак в 2009 г.



Рис. 1.4. Ель Шренка имматурного возраста на западном склоне у подножья ледника Кара-Баткак, на высоте 3343 м н.у.м. (долина Кашкатор, бассейн р. Чон-Кызыл-Суу, Северный склон Терской Ала-Тоо, Тянь-Шань, 08.07.2009г.) [9]

С изменением климата происходит изменение границ ландшафтных зон высокогорных районов. Целые растительные сообщества и отдельные виды растений чутко реагируют на межвековые и внутривековые колебания климата. В приледниковых районах, где растительность находится на пределе своего развития, она бывает очень чувствительна как к косвенному воздействию изменения среды (например, флуктуациям климата), так и к прямым действиям лавин, ледников, селей [13]. Современные исследования компонентов горных экосистем в гляциально-нивальной зоне нами проведены в бассейне р. Чон-Кызыл-Суу [9], на северном склоне хребта Терской Ала-Тоо, в юго-восточной части Иссык-Кульской котловины, ранее выбранный С.М. Мягковым [14], как эталонный участок для оценки изменений природной среды Тянь-Шаня.

1.1.2. Бассейн реки Сары-Джаз

Климатические условия бассейна р. Сары-Джаз, как и многих высокогорных внутренних долин Центрального Тянь-Шаня, характеризуются преобладанием низких температур с большими амплитудами, малым количеством осадков, неравномерным их распределением по сезонам, с максимумом летом, длительной морозной и малоснежной зимой и коротким летом. Пилотным бассейном для наших исследований стал бассейн р. Куйлю, который является крупным притоком бассейна реки Сары-Джаз.

Бассейн реки Сары-Джаз) относится к Внутренне-Тянь-Шаньскому климатическому региону. Регион внутреннего Тянь-Шаня характеризуется наиболее холодным и недостаточно увлажненным климатом, отличительной чертой которого является малое испарение при невысоких температурах [15].

Максимум осадков приходится на май, июнь и июль. Если инструментальные наблюдения на территории Кыргызстана были начаты с 1883 года, то в исследуемом районе они проводились на МС Куйлю, расположенной на высоте Н=2800 м над уровнем моря с 1951 года и МС Тянь-Шань с 1930 года, которая имеет более продолжительный ряд метеонаблюдений, установленной на высоте Н=3672 м над уровнем моря.

Различия в начале периода оценки тенденций связаны с недостаточностью данных и фактически отражают начало регулярных наблюдений для отдельных регионов. Наибольший рост температуры наблюдается в Юго-Западном регионе, а наименьший - в Северо-Восточном и Внутреннем Тянь-Шане [15].

Анализ временных трендов температуры воздуха и осадков

Наибольший интерес представляют два климатических элемента – температура воздуха и осадки так, как именно в результате изменения соотношения между теплом и влагой происходит заметное переформирование естественных горных экосистем, величины стока рек, почвы и растительности. В результате анализа построенных временных трендов среднегодовых значений температуры приземного слоя воздуха и годовых сумм осадков на основе данных метеорологических станций Куйлю и Тянь-Шань (последняя МС выбрана из-за наиболее продолжительного ряда инструментальных наблюдений) установлено, что климатические изменения прошедшего столетия в бассейне р. Сары-Джаз пошли в сторону еще большего иссушения (рисунки 1.5., 1.6.) [15]. Наибольший рост температуры воздуха отмечен на метеостанции Тянь-Шань, а наименьший на метеостанции Куйлю. Это, возможно, связано с влиянием факторов, не отражающих фактические климатические изменения, а с отсутствием наблюдений за последние годы, т.е. периода наибольшего роста среднегодовых температур. Судя по рисунку 1.5., за весь период наблюдений с 1951 по 1992 гг. на МС Куйлю температурный тренд отрицательный и составил -0,2^{0}С за 42 года, а на МС Тянь-Шань (рисунок 1.6.) мы получили положительный тренд, показывающий повышение среднегодовой температуры воздуха за 80 лет наблюдений на 1,5^{0}С.



Рис. 1.5. Тренд среднегодовых температур воздуха по МС Куйлю

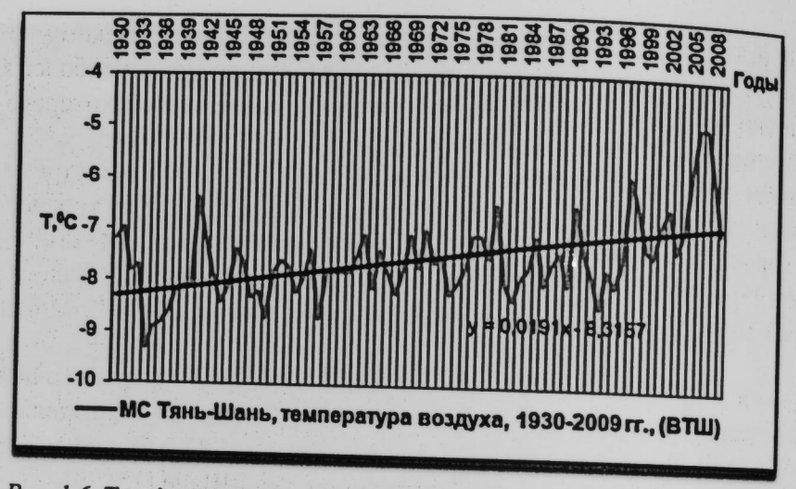


Рис. 1.6. Тренд среднегодовых температур воздуха по МС Тянь-Шань

Метеорологами мира было установлено, что за последние 100 лет в среднем на Земле температура приземного слоя воздуха постепенно повышалась. Как показывает практика, знак регионального тренда может меняться на обратное значение.

Одним из наиболее изменчивых элементов климата являются осадки. Они оказывают влияние на формирование возобновляемых ресурсов пресных вод, что в свою очередь влияет на состояние компонентов окружающей среды (почвы, флоры и фауны). Тенденции изменения осадков разнонаправлены (т.е. наблюдается как уменьшение, так и увеличение по отдельным метеостанциям) и слабо выражены, что не позволяет сделать однозначный вывод о повышении или понижении годовых осадков для всей территории Кыргызской Республики. В этой ситуации можно рассматривать только локальные тенденции. Существующая недостаточность сети инструментальных наблюдений в этих условиях дополнительно затрудняет анализ произошедших изменений [16] . Из графиков на рисунках 1.7., 1.8. видно, что в высокогорной области отрицательные тренды имеют место на всех двух станциях.

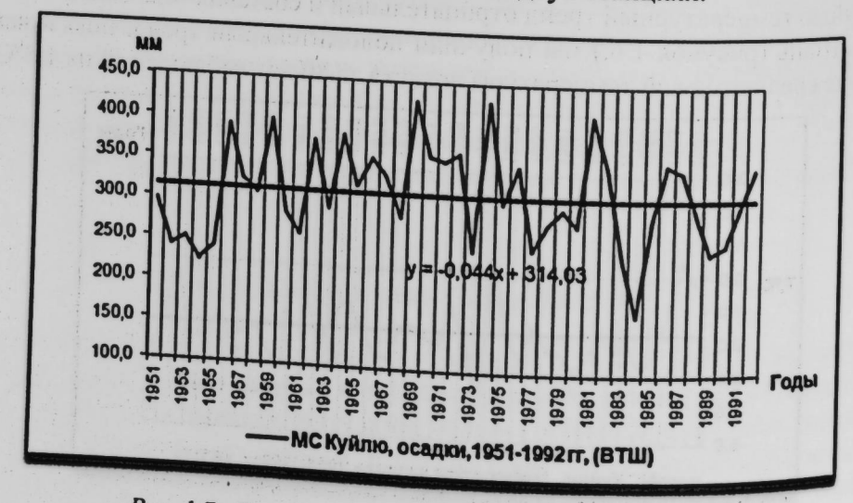


Рис. 1.7. Тренд изменения сумм осадков на МС Куйлю

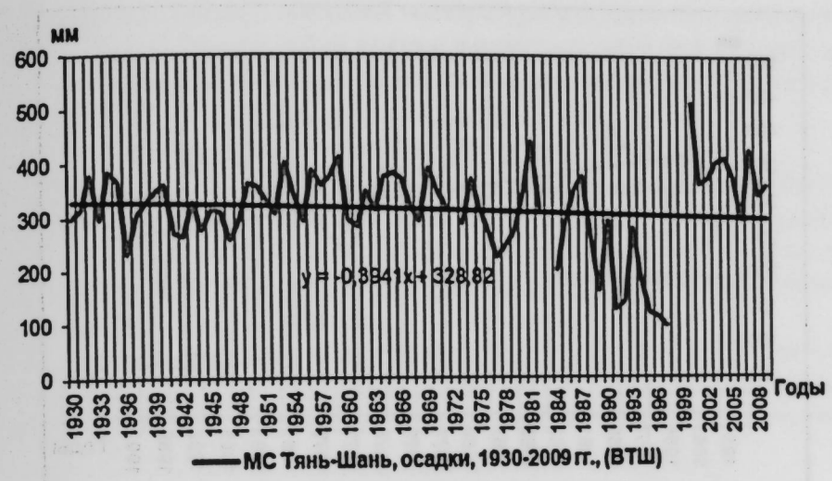


Рис. 1.8. Тренд изменения сумм осадков на МС Тян-Шань

Такая же картина соответствует трендам за теплый и холодный периоды. Наблюдается отрицательный тренд незначительного понижения годовых сумм осадков на МС Куйлю, за 42 года тренд составил всего лишь -2 мм. Тренд годовых сумм осадков, построенный на основе данных высокогорной МС Тянь-Шань, имеет также отрицательный знак, но осадки за 80 лет уменьшились на 31 мм. Это говорит о том, что тенденция к уменьшению осадков в последние 50-60 лет характерна в целом для высокогорной зоны [15, 17].

Вертикальный климатический профиль бассейна р. Сары-Джаз

Был также построен вертикальный профиль климатических параметров бассейна р. Сары-Джаз (рисунки 1.9., 1.10.), который показал, что наиболее интенсивный рост среднегодовых температур и снижение годовых сумм осадков происходит на более высоких ее участках (МС Тянь-Шань).



Рис. 1.9. Временной ход среднегодовой температуры воздуха по двум МС за период наблюдений (1951-1992 гг.)

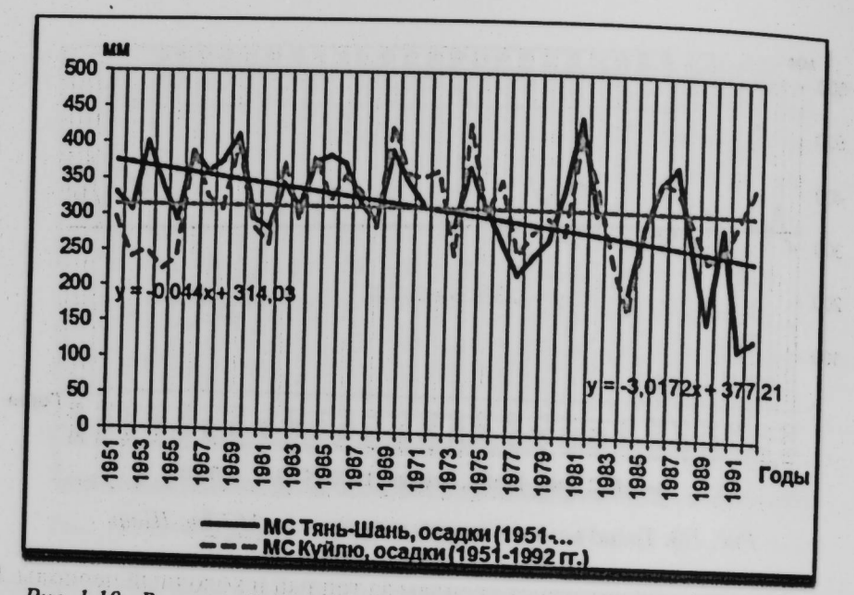


Рис. 1.10. Временной ход годовых сумм осадков по двум МС за период наблюдений (1951-1992 гг.)

Для построения трендов климатических показателей для МС Тянь-Шань мы намеренно взяли период равный периоду наблюдений на МС Куйлю. Рост среднегодовой температуры приземного слоя воздуха на МС Тянь-Шань оказался таким же не значительным, как понижение среднегодовой температуры воздуха на МС Куйлю. В результате мы можем утверждать следующее: возможно, что на МС Куйлю температурный тренд имел бы положительный знак и ощутимый рост значений за более длительный период инструментальных наблюдений. Но, к глубокому сожалению, станция из-за недостаточности финансирования была закрыта в 1992 году.

Рост температуры резко ускоряется во времени. В соответствии с рисунком 1.11 за период с 1930-1959 гг. (первые 30 лет инструментальных наблюдений) на МС Тянь-Шань получен нулевой тренд, среднегодовая температура не изменилась, а с 1980-2009 гг. (последние 30 лет наблюдений) возросла целых на 1,0 ^{0}C.

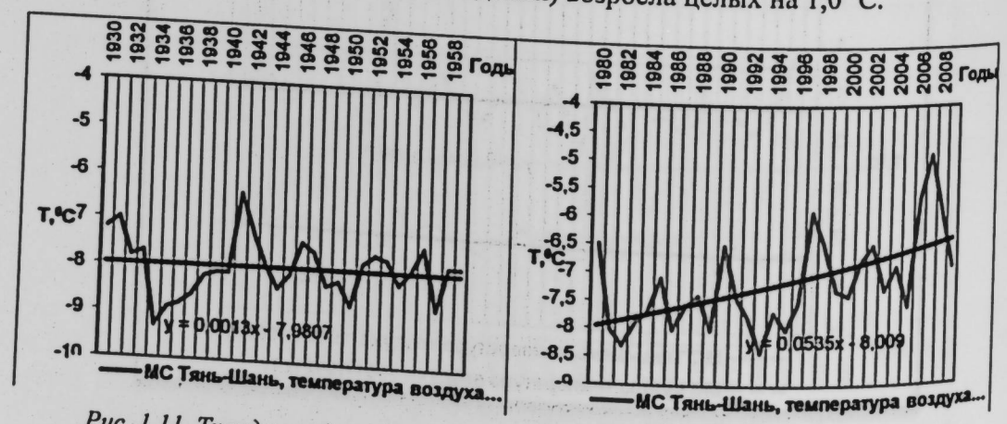


Рис. 1.11. Тренды среднегодовых температур воздуха за первые и последние 30 лет наблюдений на МС Тянь-Шань

Изменения абсолютных значений температуры и степень этих изменений за разные периоды представляют собой важные параметры, характеризующие возможные последствия изменения климата: таяние ледников, наводнения, засухи, изменение границ почвенно-растительных поясов и других явлений.

Климадиаграммы для бассейна р. Сары-Джаз

Фенологическое состояние растений является ярким показателем климатических особенностей экотопа горной экосистемы. И аномальные изменения климатических показателей внутри года в течение длительного периода влияет на видовой и количественный состав растительности, меняя границы распространения фитоценозов и целых почвенно-растительных поясов.

Для того, чтобы проследить сезонный ход температуры воздуха и внутригодовое распределение осадков в исследуемом районе нами построены климадиаграммы для двух метеостанций (МС Куйлю и МС Тянь-Шань), соответствующие рисунку 1.12.



Рис. 1.12. Климадиаграмма для бассейна р. Сары-Джаз по МС Куйлю и Тянь-Шаня

Колебание среднемесячной температуры воздуха по данным МС Куйлю за 44 года происходило от -19,2 ^{0}C зимой до 10,3^{0}C летом (Рисунок 12). По выпадению осадков наблюдался четкий летний максимум, до 60,0 мм в июле месяце, т.е. большая часть осадков выпадает в теплое время года. По среднемноголетним данным самый холодным месяцем был январь, самым теплым месяцем – июль. Шесть месяцев в году имели положительные значения температуры. Согласно графику на Рисунке 12 теплый период начинался со второй декады мая месяца и длился до первой декады октября.

На высокогорной МС Тянь-Шань значения среднемесячной температуры воздуха менялись от -21,6 ^{0}C зимой (январь) до 4,4^{0}C (июль) летом. Из графика в соответствии с Рисунком 11 видно, что положительные температуры воздуха регистрировались с первой декады июня и длились только по август месяц. Теплый период на МС Тянь-Шань очень короткий. Что касается количества выпавших осадков, то также как и раньше максимум осадков выпадало в теплый период, до 58,2 мм в июле месяце.

Поскольку нас интересуют климатические условия в бассейне р. Сары-Джаз, в плане пригодны ли они для произрастания еловых лесов, то мы решили их сравнить с климатическими условиями Северного склона Терской Ала-Тоо. Может ли ель

Шренка, теоретически, иметь широкое распространение в правом притоке р. Сары-Джаз (в бассейне р. Куйлю), как в бассейне р. Чон-Кызыл-Су. Для этого мы построили климадиаграмму для МС Куйлю (Н=2800 м н.у.м.) и МС Чон-Кызылсуу (Н=2550 м н.у.м.), соответствующий рисунку 1.13. [15].

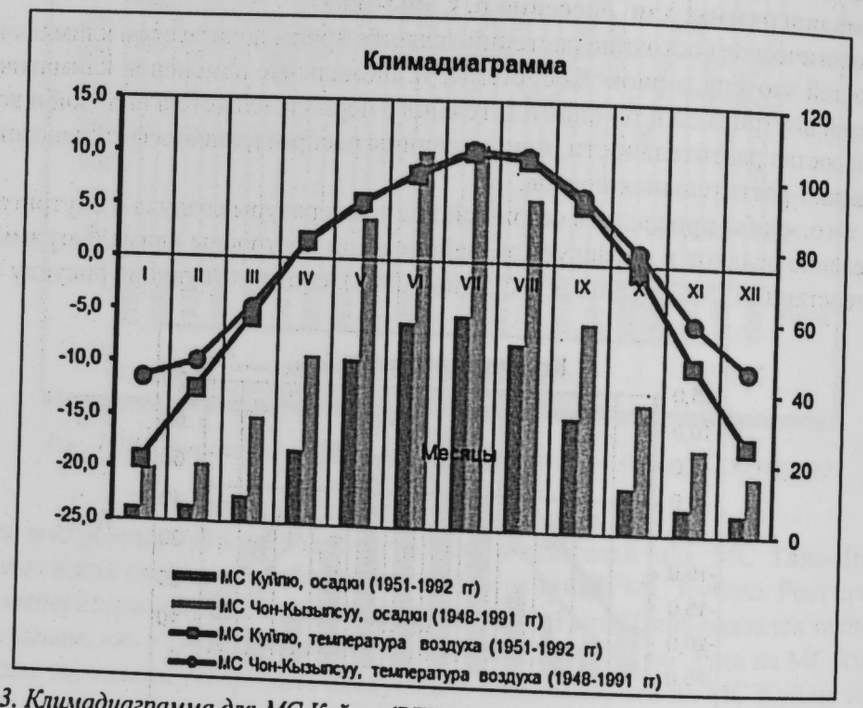


Рис. 1.13. Климадиаграмма для МС Куйлю (ВТШ регион) и МС Чон-Кызылсуу (ИКК регион)

Из графика на рисунке 12 видно, что внутригодовое распределение среднемесячных температур воздуха за почти одинаковый период инструментальных наблюдений МС Куйлю и МС Чон-Кызылсуу за теплый период полностью совпадает, расхождение можно наблюдать в холодный период. В зимние месяцы значения средемесячных температур воздуха на МС Куйлю ниже и составляет -19,2^{0}С. По обеим метеостанциям максимум осадков приходится на летний период, отличия наблюдаются только в количестве. В бассейне р.Чон-Кызыл -Суу выпадает больше осадков, чем в бассейне р Куйлю.

Вертикальный профиль климатических параметров бассейна р. Сары-Джаз показал, что наиболее интенсивный рост среднегодовых температур и снижение годовых сумм осадков происходит на более высоких ее участках (МС Тянь-Шань).

Ель Шренка – главный биоиндикатор климатических условий, теоретически, может иметь широкое распространение в правом притоке р. Сары-Джаз (в бассейне р. Куйлю), как в бассейне р. Чон-Кызыл-Су. Климадиаграммы, полученные для МС Куйлю (Н=2800 м н.у.м.) и МС Чон-Кызылсуу (Н=2550 м н.у.м.) показали, что для благоприятного роста ельников в бассейне р. Куйлю должны возрасти температуры холодного периода и увеличиться количество осадков за теплый и холодный периоды. Ельники бассейна р. Сары-Джаз существуют у ксерофильного предела своей экологической амплитуды [15].

1.1.3. Бассейн реки Ала-Арча

Исследуемый район (Кыргызский Ала-Тоо,бассейн р. Ала-Арча, ледник Адыгене и одноименное озеро) относится к Северо-западному климатическому региону. Этот регион характеризуется умеренно теплым и достаточно увлажненным климатом, с максимумом осадков весной [16]. Если инструментальные наблюдения на территории Кыргызстана были начаты с 1883 года, то в исследуемом районе они проводились на ГМС Байтик с 1915 года, установленной на высоте Н=1579 м над. ур. м. Кроме метеостанции Байтик действовала ГМС Ала-Арча. В 90-е годы прошлого столетия сеть метеостанций поредела в связи с недостаточным финансированием. Метеостанция, действующая на истоках р. Ала-Арча (Н=2945 м) была закрыта, а МС Альплагерь, расположенная на абсолютной высоте Н=2100 м над ур.м. была переименована и функционирует под названием Ала-Арча. Поэтому для характеристики климата высокогорий пришлось пользоваться данными близко расположенных станций, с помощью вычисления соответствующих коэффициентов.

Огромная разница между предгорьями и гребнем хребта и большая протяженность хребта с запада на восток обуславливает и большое разнообразие климатических и вообще физико-географических условий в Кыргызском Ала-Тоо [18]. Согласно первому климатическому районированию Средней Азии, предложенной Р.И. Аболиным [19] в Кыргызском Ала-Тоо выделяются следующие климатические пояса, представленные нами в таблице 1.3.

Таблица 1.3. Климатическое районирование хребта Кыргызского Ала-Тоо [19]

№	Климатический пояс	Высота, м	Средняя температура лета, С^0	Тип растительности
1	Особо теплый (предгорья)	1000	17-22^0	Степи, кустарники
2	Теплый	до 2200-2900	15-17^0	Субальпийские луга
3	Тепло-умеренный	от 2900	10-15^0	Альпийские луга
4	Холодно-умеренный	3900	5-10^0	Одиночные растения
5	Холодный	4750	0-5^0	Растительность отсутствует
6	Особо холодный	Выше 4750	0^0	Тоже

Представленная таблица показывает климатическую характеристику всего хребта Кыргызского Ала-Тоо. Для характеристики отдельной ее части, бассейна р. Ала-Арча используются метеоданные, функционирующие на данной территории или недалеко от нее. Для анализа мы использовали метеоданные трех метеостанций (Таблица 1.4), две из которых действуют. Третий пункт наблюдений поставлен в районе ледникового озера Адыгене сотрудниками Аларчинского полигона ИВПиГЭ НАН КР. Автоматическая метеостанция действует с 2008 г.

Таблица 1.4. Метеостанции бассейна р. Ала-Арча

Пункты наблюдений	Географическое положение	Высота
Байтык	Село с левой стороны р. Ала-Арча по выходе из ущелья	1579
Ала-Арча (Альплагерь)	На дне долины р. Ала-Арча	2100
Ала-Арча	Исток р. Ала-Арча	2945
Адыгене	Оз. Адыгене	3600

Бассейн р. Ала-Арча, как и другие районы Северного Тянь-Шаня в зимнее время находится под влиянием юго-западного сибирского антициклона. В летний период формируется термическая депрессия, обуславливающая малооблачную, ясную, без осадков погоду [18].

Анализ временных трендов температуры воздуха и осадков

В целях анализа климатических изменений прошедшего столетия в бассейне р. Ала-Арча нами построены временные тренды среднегодовых температур воздуха и годовых сумм осадков на основе данных метеорологической станции Байтик, имеющей наиболее продолжительный ряд инструментальных наблюдений (рисунки 1.14., 1.15.).



Рис. 1.14. Тренд среднегодовой температуры воздуха на МС Байтик



Рис. 1.15. Тренд годовых сумм осадков на МС Байтик

В результате анализа инструментальных данных МС Байтик выявлено значительное повышение среднегодовой температуры воздуха и незаметное увеличение количества осадков в предгорной частях бассейна р. Ала-Арча. За весь период инструментальных наблюдений с 1915 по 2010 гг. на МС Байтик температурный тренд

положительный и составил 0,9^{0}C на 96 лет. Наблюдается также положительный тренд незначительного увеличения годовых сумм осадков, за 96 лет осадки увеличились на 129 мм. Как показывает практика, за последние 100 лет температура постепенно повышалась. Изменения значений среднегодовых температур воздуха и годовых сумм осадков на МС Ала-Арча (Альплагерь) за последние 19 лет незначительные.

Норма, основанная на наблюдениях за 100 лет, значительно ниже, чем большая часть средних годовых температур, наблюдавшихся в середине 20-го столетия. Исследование, выполненное некоторыми исследователями [8], показало, что наилучшей оценкой средней температуры последующего года служит средняя температура за 15-летний период. Поэтому использование этой средней (за 30 лет) даст лучшие результаты, чем использование нормы, рассчитанной за более длинный период. Аналогичный вывод получен и в отношении осадков.

Вертикальный климатический профиль бассейна р. Сары-Джаз

Для анализа вертикального климатического профиля бассейна р. Ала-Арча, стало необходимым построить графики изменения температур воздуха и количества осадков за последние 19 лет по двум метеостанциям Байтик и Ала-Арча (Альплагерь) (рисунки 1.16., 1.17.).

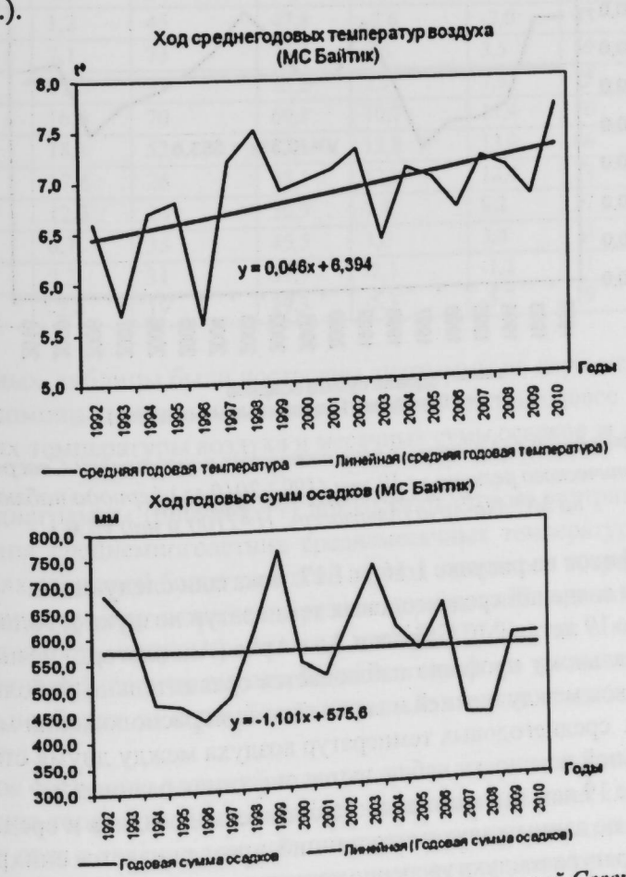


Рис. 1.16. Временной ход основных климатических показателей Северо-западного климатического региона за 19 лет (1992-2010 гг.) периода наблюдений на МС Байтик (H=1579 м над ур.м.)



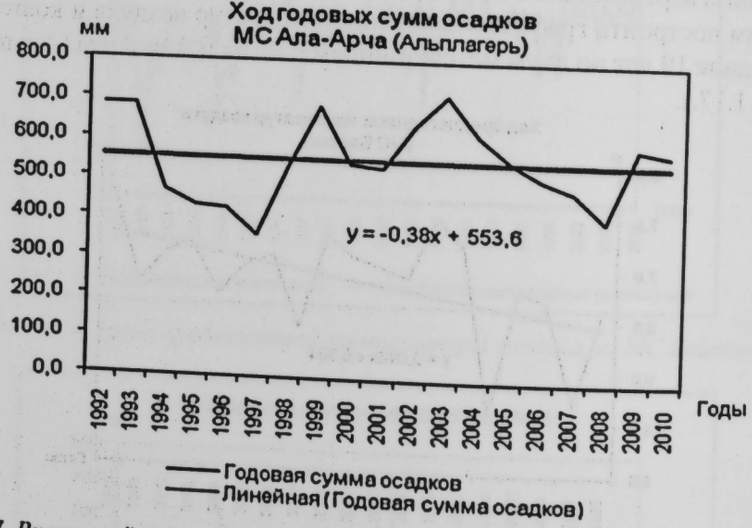


Рис. 1.17. Временной ход основных климатических показателей Северо-западного климатического региона за 19 лет (1992-2010 гг.) периода наблюдений на МС Ала-Арча (Альплагерь, Н=2100 м над ур.м.)

Анализ графиков на рисунке 1.16. и 1.17. показали следующее:

- Изменения значений среднегодовых температур воздуха и годовых сумм осадков за последние 19 лет на МС Байтик и Ала-Арча (Альплагерь) незначительные.
- По вертикальному профилю наблюдается сравнительно небольшая разница в количестве осадков между нижней и верхней точкой расположения метеостанций.

В значениях среднегодовых температур воздуха между двумя станциями, по законам вертикальной поясности наблюдается ощутимая разница.

За последние 19 лет, в колебаниях годовых сумм осадков и среднегодовых температур воздуха по данным двух метеостанций прослеживается синхронность. Среднегодовая температура воздуха уверенно возрастает, а годовые суммы осадков незначительно идут на спад.

Климадиаграммы для бассейна р. Ала-Арча

Далее, чтобы провести сравнительный анализ среднемноголетних климатических данных двух метеостанций на территории исследуемого района за разные периоды составлена таблица 1.5., с использованием литературных источников и современных данных Гидрометеослужбы.

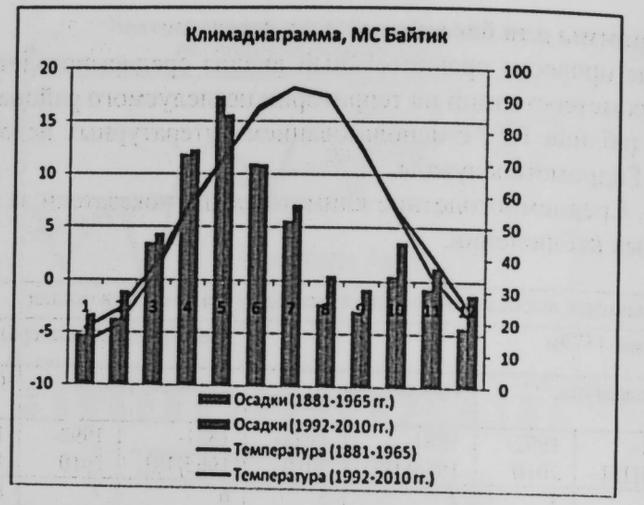
Таблица 1.5. Среднемноголетние климатические показатели за разные периоды инструментальных наблюдений.

Месяц	Абсолютная высота метеостанций, температура воздуха и осадки							
	Байтик, 1579м				Ала-Арча (Альплагерь), 2100 м			
	Температура, ^{0}C		Осадки, мм		Температура, ^{0}C		Осадки, мм	
	1881-1965[18]	1992-2010	1881-1965[18]	1992-2010	1881-1965[18]	1992-2010	1881-1965[18]	1992-2010
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Январь	-6,0	-4,6	16	22,3	-7,8	-8,0	13	20,9
Февраль	-4,3	-2,8	21	29,7	-6,8	-6,2	23	28,0
Март	0,4	1,2	45	47,8	-2,6	-2,0	45	40,6
Апрель	6,6	7,1	73	74,2	2,6	3,5	59	66,9
Май	11,4	11,5	91	85,2	7,5	7,6	75	82,5
Июнь	16,4	16,0	70	69,8	10,7	11,4	70	66,9
Июль	18,1	18,1	52	57,1	12,8	13,0	56	69,9
Август	17,3	17,4	26	35,1	12,2	12,4	38	36,1
Сентябрь	12,5	12,3	24	30,9	7,4	8,2	27	32,4
Октябрь	6,3	6,7	35	45,5	3,0	3,4	34	39,2
Ноябрь	0,5	2,3	31	37,7	-2,1	-1,2	31	36,7
Декабрь	-3,2	-2,4	19	29,3	-5,3	-5,7	19	29,7

На основе данных таблицы были построены диаграммы по двум метеостанциям (рисунок 1.18.), с помощью которых можно проследить внутригодовое распределение среднемесячных температуры воздуха и месячных сумм осадков за разные периоды наблюдений.

Построенные диаграммы (рисунок 17) показывают, что во внутригодовом распределении значения среднемноголетних среднемесячных температур воздуха на обеих метеостанциях за второй более короткий период одинаково возросли. Среднемноголетние месячные суммы осадков за разные периоды наблюдений на двух метеостанциях разнятся. Так, например, если по данным МС Байтик в мае месяце за первый более длительный период выпало больше осадков, то по данным МС Ала-Арча (Альплагерь) наоборот, за первый период выпало меньше осадков, чем во второй короткий период.

Фенологическое состояние растений является ярким показателем климатических особенностей экотопа горной экосистемы. И аномальные изменения климатических показателей внутри года в течение длительного периода влияет на видовой и количественный состав растительности, меняя границы распространения фитоценозов и целых почвенно-растительных поясов.



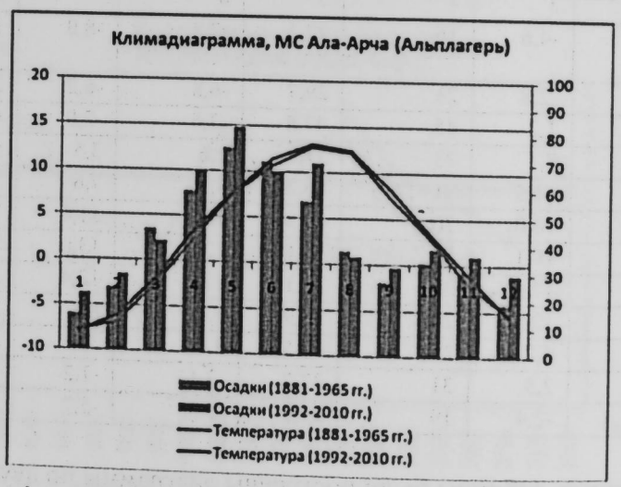
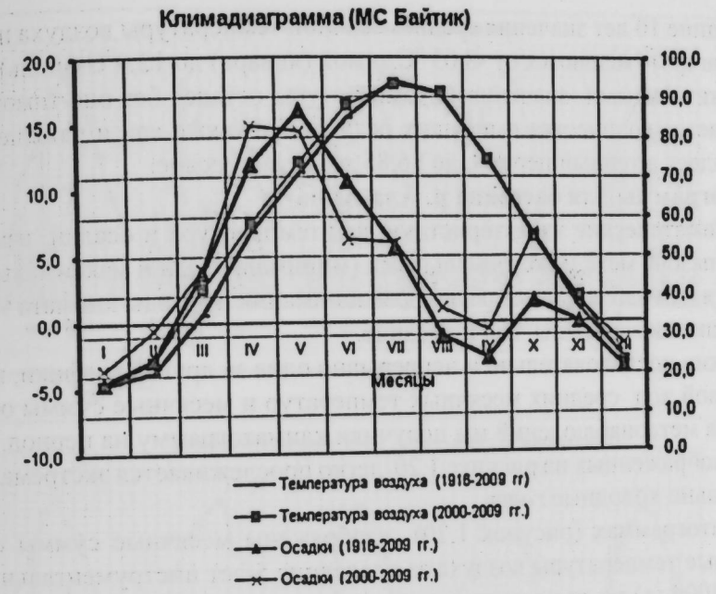


Рис. 1.18. Климадиаграммы для двух метеостанций за разные периоды наблюдений

Для того, чтобы проследить сезонный ход температуры воздуха и внутригодовое распределение осадков в исследуемом районе нами построены климадиаграммы для двух метеостанций.

Колебание среднемесячной температуры воздуха по данным МС Байтик за 96 лет происходит от -4,7 ^{0}C зимой до 18,2^{0}C летом (Рисунок 18). По выпадению осадков наблюдается четкий весенний максимум, до 86,9 мм в мае месяце, т.е. большая часть осадков выпадает в теплое время года. По среднемноголетним данным самый холодный месяц – январь, самый теплый месяц – июль. Девять месяцев в году имеют положительные температуры. Согласно графику на Рисунке 18. теплый период начинается с третьей декады марта месяца и длится до третьей декады октября.

За последние 10 лет значения среднемесячной температуры воздуха на МС Байтик меняются от -4,7 ^{0}C зимой (январь) до 18^{0}C (июль) летом. Из графика (рисунок 1.19.) видно, что уже с конца февраля по июль месяцы среднемесячные температуры воздуха повысились и тем самым период с положительными значениями температуры увеличился. Что касается количества выпавших осадков, то также как и раньше максимум осадков выпадает в теплый период, до 82,8 мм в апреле месяце.



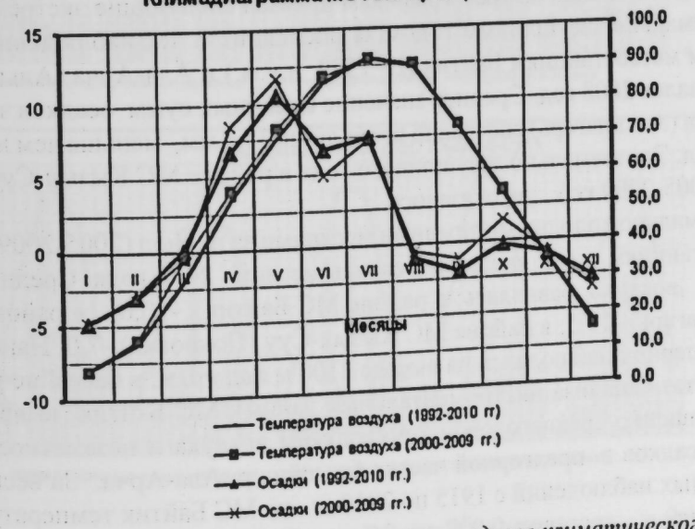


Рис. 1.19. Климадиаграммы для Северо-западного климатического региона по МС Байтик и Ала-Арча (Альплагерь)

Колебание среднемесячной температуры воздуха по данным МС Ала-Арча (Альплагерь) за 19 лет происходит от -8,0 ^{0}C зимой до 13,0^{0}C летом (рисунок 1.19.). По выпадению осадков наблюдается четкий весенний максимум, до 82,5 мм в мае месяце, т.е. большая часть осадков выпадает в теплое время года. По среднемноголетним данным самый холодный месяц – январь, самый теплый месяц – июль. Семь месяцев в году имеют положительные температуры. Согласно графику на рисунке 1.19. теплый период начинается со второй декады апреля месяца и длится до первой декады октября.

За последние 10 лет значения среднемесячной температуры воздуха на МС Ала-Арча (Альплагерь) меняются от -8,03 ^{0}С зимой (январь) до 12,9^{0}С (июль) летом. Период с положительными значениями температуры остался без ощутимого изменения. Что касается количества выпавших осадков, то также как и раньше максимум осадков выпадает в теплый период, до 86,85 мм в мае месяце.

Климатограммы для бассейна р. Ала-Арча

Такие климатические характеристики, как температура и осадки, изменяются в широком диапазоне между экстремальными (минимальными и максимальными) значениями. Хотя они наблюдаются редко, для понимания природы климата экстремальные показатели так же важны, как и средние.

Расположив последовательно и непрерывно одна за другой графики, на которых показан годовой ход средних месячных температур и месячные суммы осадков для одного пункта метеонаблюдений мы получили климатограмму на период. На климатограммах, изображенных на рисунке 1.20 легко прослеживается экстремально сухие или экстремально холодные годы.

На климатограммах (рисунок 1.20) изображены месячные суммы осадков и среднемесячные температуры воздуха за последние 5 лет инструментальных наблюдений (2005-2009 гг) по трем метеостанциям, где данные МС Кызыл-Суу взяты для сравнения

Анализ метеоданных по трем графикам показал следующие экстремумы:

- Экстремально засушливым годом за последние 5 лет наблюдений (2005-2009 гг.) по двум метеостанциям Байтик (H=1579 н.у.м.) и Ала-Арча (Альплагерь, 2100 м н.у.м.) оказался 2008 год. Среднее значение месячных сумм осадков за 2008 год по МС Ала-Арча (Альплагерь) составило всего лишь 33,9 мм, меньше чем на МС Байтик за этот же год. Экстремально засушливого года в районе МС Кызыл-Суу (H=1740 м) за период (2005-2009 гг.) не оказалось.

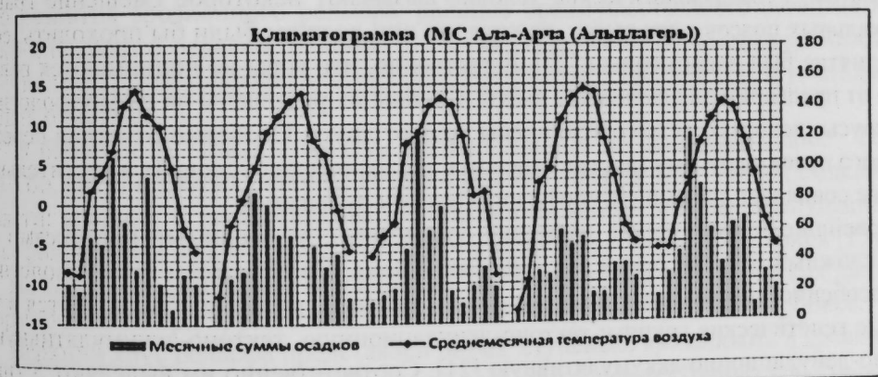
- Экстремально холодными зимними месяцами за период (2005-2009 гг.) по всем трем метеостанциям стали январь и февраль месяцы 2008 года. Средняя январская температура воздуха равнялась: в районе МС Байтик -10,6; в районе МС Ала-Арча (Альплагерь) -13,5; в районе МС Кызыл-Суу (Покровка) -7,0. Наиболее холодный зимний период наблюдался на высоте 2100 м над ур. м. в бассейне р. Ала-Арча.

В результате анализа инструментальных данных МС Байтик выявлено значительное повышение среднегодовой температуры воздуха и незаметное увеличение количества осадков в предгорной частях бассейна р. Ала-Арча. За весь период инструментальных наблюдений с 1915 по 2010 гг. на МС Байтик температурный тренд положительный и составил 0,9^{0}С на 96 лет. Наблюдается также положительный тренд незначительного увеличения годовых сумм осадков, за 96 лет осадки увеличились на 129 мм. Как показывает практика, за последние 100 лет температура постепенно повышалась. Изменения значений среднегодовых температур воздуха и годовых сумм осадков на МС Ала-Арча (Альплагерь) за последние 19 лет незначительные.

а)



б)





в)

Рис.1.20. Климатограммы для а),б) Северо-Западного климатического региона и для в) Северо-восточного климатического региона (Прииссыккулье) за период 2005-2009 гг. климатических экстремумов в бассейнах р. Ала-Арча (Кыргызский Ала-Тоо) и р. Чон-Кызыл-Суу (Терскей Ала-Тоо)

Климадиаграммы, построенные для метеостанций Байтик и Ала-Арча (Альплагерь) дали возможность проследить сезонный ход температуры воздуха и внутригодовое распределение осадков в исследуемом районе. Максимум осадков выпадает в весеннее-летний период.

В результате анализа построенных климатограмм для двух метеостанций бассейна р. Ала-Арча было выявлены, что экстремальные засушливым годам за период 2005-2009 годы был 2008 год.

2. Геоморфологические и эдафические условия формирования горных экосистем Тянь-Шаня

2.1. Геоморфология горных экосистем Тянь-Шаня

Характер растительного покрова поясов зависит не только от различий климата в целом, но и от геоморфологических условий территории, со свойственным им микроклиматом. Геоморфологические условия вызывают некоторое смещение границ вертикальных поясов с тех высот, на которых они должны были бы проходить, если бы поднятие был равномерным [20]. Естественно, что горы не поднимаются равномерно от предгорий до альпийских высот. Склоны их разделены на геоморфологические ярусы, довольно резко отграничены друг от друга. Особенно отчетлив переход от одного пояса к другому там, где перелом в экологических условиях и растительном покрове совпадает с этими геоморфологическими рубежами.

Новейшие тектонические движения совместно с экзогенными процессами создали сложный рельеф горной системы Тянь-Шаня. По основным геоморфологическим особенностям различают формы и типы рельефа, которые объединяются в три главные генетические группы: тектоно-денудационную, тектоно-аккумулятивную и тектоно-денудационно-аккумулятивную [21]. Соответственно им выделяют 5 типов рельефа: горный, предгорный, предгорно-долинный, подгорно-равнинный и песчано-равнинный.

Григоренко П.Г. [21] подразделяет Тянь-Шань по сочетанию выделенных геоморфологических комплексов подразделяет на три основные геоморфологические области: Северный Тянь-Шань, Южный Тянь-Шань и Юго-Западный Тянь-Шань. Согласно данному районированию, котловина оз. Иссык-Куль и её горное обрамление входит в Северо-Тянь-Шаньскую геоморфологическую область.

К геоморфологическим исследованиям относятся изучение ярусности и установления возраста рельефа. Ярусность рельефа различных регионов Средней Азии отражена в работах таких исследователей, как К.К. Маркова, Н.П. Костенко, О.К. Чедия, В.В. Лоскутова, А.К. Трофимова, В.М. Макарова, Н.В. Макаровой и Ш. Качаганова.

В Северном Тянь-Шане [12]. на примере долины р. Чон-Кемин выделены 3 яруса рельефа: 1.Верхний (Pz-Pg_3); 2.Средний (N-Q); Нижний (Q_2-Q_4), соответствующие рельефной характеристике бассейна р. Чон-Кызыл-Суу. В среднем ярусе можно различать еще три подъяруса (Na, Nb, N_2-Q_1). Сваричевская З.А. выделяет следующие этапы рельефообразования: 1) досреднеолигоценовый – время становления пенеплена; 2) среднеолигоценовый –период существенной переработки древнего пенеплена новейшими тектоническими движениями; 3) среднеплиоцен-нижнечетвертичный период коренного преобразования рельефа под влиянием тектонических движений [22]. Особенно четко ярусность прослеживается на хребте Терской Ала-Тоо [23], где наиболее древним элементом рельефа является доорогенная поверхность выравнивания. В доорогенном этапе эта поверхность (пенеплен) была развита повсеместно

в Северном Тянь-Шане [22]. В приводораздельной части хр. Терской Ала-Тоо древняя денудационная поверхность почти не сохранилась. Единичные фрагменты её имеют абсолютную высоту 4000-4500м [24].

2.1.1. Геоморфология горных экосистем Приссыккулья

Иссыккульская межгорная впадина подразделяется на:
1. покатую озерно-дельтовую равнину;
2. наклонную аллювиально-пролювиальную равнину;
3. внутридепрессионные поднятия;
4. предгорные адыры [23].

По той же классификации горная область состоит из районов преимущественного развития эрозионного рельефа, районов преимущественного развития гляциально-нивального рельефа, районов развития современного оледенения. Каждый из перечисленных геоморфологических районов образуется на соответствующих им высотных отметках.

В бассейне р. Чон-Кызыл-Суу, расположенном на северном склоне Терской Ала-Тоо, как и в других районах Иссык-кульской области Н.Г. Уткина выделяет две области: впадину с преимущественно с аккумулятивным и горы с денудационным рельефом, каждая из которых состоит из 4 х геоморфологических районов [23].

На северном склоне хр. Терской Ала-Тоо в результате орогенических движений сформировались три яруса, каждый из которых мы рассмотрим поподробнее.

Верхний ярус рельефа представлен двумя ступенью, врезанными в древнюю денудационную поверхность [24]. Верхний ярус синхронен тектонической стадии олигоцен-миоценового времени и коррелятен нижней красноцветной части моласс (джетыогузской и шамсинской свитам) во впадинах.

Средний ярус рельефа представлен также двумя эрозионно-денудационными ступенями Этот ярус синхронен второй стадии новейшего тектогенеза (плиоцен – ранний плейстоцен) и коррелятен наиболее грубообломочным палево-серым отложениям джуукинской и шарпылдакской свит [24]. Нижняя ступень среднего яруса называется чолпонатинской выровненной поверхностью.

Нижний ярус рельефа образован в среднем плейстоцене – голоцене, когда накапливалась сероцветная валунно-галечная (сакская по А.К. Трофимову) серия, представленная джергаланским, сухохребтинским и кутмалдинским комплексами [24]. В этом ярусе выделяется до 2-3 х эрозионных террас (бозбешикская, тонская и барбулакская). Ниже в этом же ярусе располагается еще 3 ступени (михайловская, николаевская и тюпская) раннечетвертичного возраста.

Вернемся к классификации, разработанной Н.Г. Уткиной [23], согласно которой в горном обрамлении оз. Иссык-Куль выделяются районы преимущественного развития эрозионного рельефа, районы преимущественного развития гляциально-нивального рельефа и районы развития современного оледенения. Ледниково-нивальные процессы наиболее ярко выражены в области развития древнего и современного рельефа в верховьях рек. Ледники сыграли разрушающий эффект на древние долинковые формы рельефа, образовали троговые долины. Троговые долины являются типичными для верховьев рек бассейна р. Чон-Кызыл-Суу. Древние кары заполня-

ются солюфликационными образованиями, которые при скольжении вниз образуют псевдоморены.

Резкое изменение обстановки произошло в нижнечетвертичное время. Тянь-Шань в это время был уже высоко поднят и подвергался оледенению. Ледниковая эрозия глубоко изменила рельеф: возникли троговые долины и моренные нагромождения, материал их транспортировался, где образовались огромные конусы выноса. Большая часть флоры Иссык-кульской котловины погибла в эту эпоху [20].

Самая древняя морена, обычно, находится вне связи с современной гидросетью, датируется раннечетвертичным оледенением [23] и образует нижнечетвертичные (Q_1) отложения. В большинстве случаев морены этого времени размыты, задернованы и значительно сглажены.

Второе оледенение [25] наступило после увеличения темпов тектонических движений и разрастанием вширь области поднятия. В среднечетвертичное время (Q_2) языки ледников спускались ниже современных на 4-15 км.

Третье оледенение [25] наступило в позднечетвертичное время (Q_3) менее мощным и не выходило за рамки предыдущих ледников. Позднечетвертичная генерация морен обычно занимает промежуточное положение между моренами максимального и голоценового оледенения [23].

В голоцене (Q_4) отмечаются стадиальные подвижки ледников [26]. Голоценовые морены представляют собой свежие боковые и конечные гряды с холмистыми нагромождениями, которые погребают ледник [23]. Между концом языка ледника и конечной грядой иногда образуются небольшие озера. Озеро Кара-Баткак (бассейн р. Чон-Кызыл-Суу является этому пример).

Таким образом, в горном обрамлении оз. Иссык-Куль установлено [27] 4 разновозрастных ледниковых комплекса Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 и проведена их корреляция с аллювиальными и аллювиально-пролювиальными отложениями региональной стратиграфической схемы. За всю историю развития рельефа растительный покров менялся. От одной стадии горообразования к другому, в период ледниковых и межледниковых эпох происходило изменение видового состава растительности, смена элементов флоры от тургайской к бореальному со смесью центрально-азиатской флоры с переходом к суровым континентальным климатическим условиям. Сильная расчлененность рельефа, создающая особый микроклимат, влияет на характер растительности.

2.2. Почвы горных экосистем Северного Тянь-Шаня

Почвы Иссык-Кульской котловины и её горного обрамления весьма разнообразны. Их морфологические, физико-химические свойства тесно связаны с особенностями других компонентов горной экосистемы (геоморфологии, климата, растительности).

Согласно почвенно-географическому районированию [28] почвы характерные для Иссык-Кульской впадины по территориальному распределению образуют отдельную подпровинцию – Иссык-Кульская горно-котловинная, которая входит в самую обширную по площади провинцию – Алайско-Центральнотяньшанскую (горно-котловинную). Иссык-Кульская горно-котловинная подпровинция, в свою очередь, территориально делится на Западно-Прииссыккульский и Восточно-Прииссыккульский округа. Аналогичное подразделение Иссык-Кульской котловины, как обособленный Северо-восточный климатический район делят [29] на 2 подрайона: Западный и Восточный, отличающихся коэффициентом увлажнения. Западное Прииссыккулье характеризуется сухим климатом и соответствующим ему типами почв, в то время как Восточное Прииссыккулье отличается более влажным климатом и разнообразием почв. На основе дешифрирования космофотосъемок для Прииссыккулья выявлено 16 почвенных единиц, которые легли в основу ландшафтной карты Иссык-Кульской впадины [30].

2.2.1. Почвы бассейна реки Чон-Кызыл-Суу

Почвы бассейна р. Чон-Кызыл-Суу относятся к почвам межгорных впадин и горных склонов и делятся на 8 подтипов почв [27]: Луговые и лугово-болотные, местами солончаковатые; Горно-долинные светло-каштановые; Горно-долинные каштановые; Горные темно-каштановые; Горные черноземы; Горные, черноземно-лесные еловых лесов; Горные луговые субальпийские; Горные луговые альпийские.

Доказано [31] , что особенности почвообразования и морфологии в большей степени определяются климатом территории. Так, например, такое свойство почвы, как влажность, находится в прямой зависимости от атмосферных осадков достигающих её поверхности. Влага, достигшая поверхности почвы дает начало поверхностному стоку, инфильтрации, физическому испарению, десукции [28]. Все подтипы почв, которые выделяются в бассейне р. Чон-Кызыл-Суу имеют различную степень увлажнения, которая меняется с изменением абсолютной высоты.

Морфолого-генетические признаки почв горных экосистем бассейна р. Чон-Кызыл-Суу. Исследование морфологических и гентических признаков почв проводилось по срезам на участках по всему вертикальному ландшафтному профилю бассейна р. Чон-Кызыл-Суу, отличающихся особенностями геоморфологического строения, климатических условий и растительного покрова [32]. Местоположение площадок было выбрано с учетом наибольшей типичности для ландшафтов Юго-восточной части Иссык-Кульской котловины с равнинным, предгорным и горным рельефом. С целью определения физико-химических свойств почвы (методом полуямки) были взяты почвенные пробы для лабораторных анализов с нескольких учетных площадок. Почвенные разрезы производились на 9 участках (Приложение1). Все подтипы почв, выделенные в бассейне р. Чон-Кызыл-Суу имеют различную степень увлажнения, которая меняется с изменением абсолютной высоты.

Почвенный разрез №1. Полуостров Кара-Булун на побережье оз. Иссык-Куль.

Геоботаническое описание №2, в 300 м от берега. Уклон - 2°, 1614 м н.у.м. (GPS).

Растительность: Злаково-эфедровая группа ассоциаций с проективным покрытием - 25%.

Почва - песчаная, суглинистая (таблица 2.1, рисунок 2.1).

Таблица 2.1. Описание почвенного разреза №.1

Глубина разреза, см	Характеристика почв
0-40	Среднезернистый песчаник с пылеватой структурой, со светло серым оттенком, густо пронизан корнями растений; увалистый, граница неустойчивая, волнистая, переход в другой горизонт постепенный

40-45	Крупно зернистый песчаный горизонт светлого цвета, структура не устойчивая, разрыхленная, граница волнистая, переход плавный, густо пронизан корнями растений.
45-80	Смешанный песчаник с преобладанием крупно- и среднезернистым песком, структура более устойчивая, но разрыхленная, граница резкая, переход плавный, изредка встречаются поры и корни растений, увлажнен.
80-100	Горизонт с темно серым оттенком, местами плотный или разрыхленный; образования светлого цвета, изредка встречаются корни растений, увлажнен, вытоптанный, граница волнистая, переход плавный.

Песчаные почвы состоят из песчаных зерен с очень незначительным количеством пылевато-глинистых частиц. Почвенная масса не обладает связанностью, рассыпающаяся на отдельности, бесструктурная, невязкая. По механическому составу - песок. Увлажнение в верхнем слое (45 см) составляет 2,1%, в более глубоких слоях - 4,6%.

Почвенный разрез №2. Полуостров Кара-Булун на побережье оз. Иссык-Куль.

Геоботаническое описание №3, в 1020 м от берега оз. Иссык-Куль. Уклон - 3°, Н=1615 м н.у.м. (GPS).

Растительность: Облепихово- полынно-злаковая группа ассоциаций с эфедрой средней с проективным покрытием 60%.

Почва - песчаная, суглинистая (таблица 2.2, рисунок.2.2.).

Таблица 2.2. Описание почвенного разреза №2.

Глубина разреза, см	Характеристика почв
0-35	Маломощный слой, порошистый песчаник с пылеватой глинистой структурой, с темно серым оттенком, густо пронизан корнями эфедры, увлажнистая, граница неустойчивая, волнистая, переход резкий.
35-47	Среднезернистый песчаный суглинистый горизонт светлого цвета, структура неустойчивая, разрыхленная, граница волнистая, переход плавный, редко пронизан корнями растений.
47-90	Песчаник с преобладанием мелкооореховатой и порошистым песком, структура неустойчивая, разрыхленная, граница резкая переход плавный, оттенок светлая серая, изредка встречаются поры и корни растений, увлажен.
90-100	Горизонт с преобладанием песчаных частиц с небольшой примесью глины, с серо-светлым оттенком, местами рыхлый, непластичный; образования серо-светлого цвета, изредка встречаются поры и корни растений, увлажнен, граница волнистая, переход плавный.

Почвенная масса не обладает связанностью, сыпучая, бесструктурная, невязкий, механический состав – супесь. Увлажнение в верхнем слое (47 см) составляет – 2,5%, ниже этой глубины – 5%. В растительном покрове доминирует эфедра, с проективным покрытием более 50%.

Почвенный разрез №3. Полуостров Кара-Булун на побережье оз. Иссык-Куль.

Геоботаническое описание №5. Участок расположен на поверхности II-й голоценовой террасы полуострова Карабулун, в 3900 м от берега оз. Иссык-куль. Уклон – 3°, Н= 1650 м н.у.м. (GPS).

Растительность – Злаково-разнотравно-полынная группа ассоциаций с цикорием обыкновенным с проективное покрытием более 70%.

Почва – орошаемая, светло-каштановая, карбонатная (таблица 2.3., рисунок 2.3.).

Таблица 2.3 Описание почвенного разреза №3.

Глубина разреза, см	Характеристика почв
0-0,3	Имеет тонкий слабо заметный слой гумуса с преобладанием суглинка. Густо пронизан корнями растений, уплотнен, переход постепенный.
0,3-12	Слабо увлажненный, среднесуглинистый, комковато-пылеватой структуры, уплотнен, встречаются единичные камни, окрашен в буровато серый цвет, пронизан редкими корнями растений.
12-41	Смешанный среднесуглинистый песчаник с преобладанием средне зернистого песка, структура имеет довольно рыхлое строение и отличается комковато-пылеватой структурой, граница волнистая, переход плавный, изредка встречаются поры и корни растений, увлажнен, ходы дождевых червей отсутствуют.
41-76	Горизонт с буроватым оттенком, местами слабый или разрыхленный. Влажный, среднесуглинистый с очень слабо выраженной солонцеватостью, увлажнен, вытоптанный, граница волнистая, переход плавный, заметны корни и поры растений.
76-100	Ниже хрящевато-галечниково-валунные отложения

Светло-каштановые почвы: содержат от 2,6 до 3,4 % гумуса с постепенным и заметным уменьшением его в глубь. Пахотный горизонт этих почв окрашен в буровато-серый цвет, имеет сравнительно рыхлое строение и отличается комковато-пылеватой структурой. Почвы не засолены и не солонцеваты, или солонцеватость выражена очень слабо. Почвенная масса устойчивая. Механический состав почвы - суглинистые частицы и песчаники. Увлажнение в верхнем слое (41 см) почвы составляет 8%, в нижних слоях – 17,4%.

Почвенный разрез №4. Правый берег реки Чон-Кызыл-Суу.

Геоботаническое описание №6. Юго-восточная часть с. Кызыл-Суу, на поверхности III-й террасы. Уклон - 8°, 1811 м н.у.м. (GPS).

Растительность: зерновые культуры с горчицей полевой с проективным покрытием 90%.

Почва – горно-степная светло-каштановая, бескарбонатная (таблица 2.4., рисунок 2.4).

Таблица 2.4. Описание почвенного разреза №4.

Глубина разреза, см	Характеристика почв
0-0,4	Имеет слабозаметный слой гумуса с преобладанием суглинка. Корни растений густо пронизаны, уплотнен, переход постепенный.
0,4-40	На нижних поверхностях подстилающих их каменисто-галечниковых пород горизонт слабо увлажненный, пылевато-тяжелый суглинистый, заметно уплотненный, граница волнистая, переход плавный, изредка встречаются корни растений.
40-86	Серовато буроватый оттенок, местами уплотненный. На горизонте обнаруживаются каменисто-галечниковые породы, порфир., Механическая состав - средний суглинок. Солонцеватость выражена очень слабо, изредка встречаются поры растений. Переход плавный, граница волнистая.
86-100	Влажный, имеет серо - буроватый оттенок, обнаруживаются галечниково-каменистые отложения. Механический состав - средний суглинок. Заметны поры растений.

Светло-каштановые орошаемые бескорбанатные почвы: содержат от 2,3 до 4,0 % гумуса с постепенным заметным уменьшением его вниз; пахотный слой светло каштановых почв имеет серо-бурую окраску и значительно оструктурен, обладают заметно уплотненным подпахотным горизонтом, имеющим комковато-мелкоглыбистую структуру. Нижний горизонт почвы имеет более облегченный хрящевато-супесчанный, неоднородный механический состав. Увлажнение в верхнем слое (40 см) составляет - 10%, ниже этой глубины – 16%.

Почвенный разрез №5. Правый берег реки Чон-Кызыл-Суу.

Геоботаническое описание № 7. Юго-восточной части села Чон-Кызыл-Суу, на 800 м. ниже от гидропоста. Уклон - 11°, 2103 м н.у.м. (GPS).

Растительность: Нижняя граница лесо-лугово-степного пояса , полынно-злаковая группа ассоциаций с проективным покрытием 40%.

Почва: горно-степная, карбонатная, суглинистая, светло-каштановая (таблица 2.5., рисунок 2.5.).

Таблица 2.5. Описание почвенного разреза №5.

Глубина разреза, см	Характеристика почв
0-0,5	Темно-серый с палевым оттенком, структура пылевато-комковатая, почва средне-уплотненная, граница волнистая, переход постепенный, густо пронизан корнями растений.
0,5-37	Нижняя граница гумуса палевого цвета, структура пылевато-средне-комковатая, имеет разрыхленный суглинок, граница волнистая, переход плавный, корни растений достигают от 0 до 15 см.
37-92	Оттенок палевый со светло-серым оттенокм, местами плотный или разрыхленный; структура - пылеватый суглинок, новообразования ярко-серого цвета, изредка встречаются поры растений, увлажнен, граница волнистая, переход плавный.
92-100	Влажный, ярко-палевого цвета, среднесуглинистый, имеются галечниково-валунные отложения.

Светло-каштановые горно-равнинные почвы: содержат от 2,6 до 4,8 % гумуса с постепенным заметным уменьшениям его вниз; недостаточно влаги, растительность представлена сухими степями и степями, местами встречаются куртины из караганы и арчи стелющееся формы. Механический состав почвы супесчанно-хрящеватые продукты. Увлажнение почвы составляет 10 %.

Почвенный разрез №6. Левый берег реки Чон-Кызыл-Суу.

Геоботаническое описание №8. Н=2602 м н.у.м. (GPS).

Растительность: Манжетково-разнотравная группа ассоциаций в средней зоне лесо-лугово-степного пояса с проективным покрытием более 80%

Почва – горная, карбонатная, суглинистая, темно-каштановая (таблица.2.6., рисунок 2.6.).

Таблица 2.6. Описание почвенного разреза №6.

Глубина разреза, см	Характеристика почв
0-13	Дерновый горизонт имеет мощность до 13 см, плотный, серовато бурой окраски; мелко-зернисто-пылеватой структуры, к низу переходит в столбовидную и пластинчатую каменистую почву, густо пронизан корнями растений.

13-15	Поддерновый горизонт имеет мощность до 3 см, не более, серовато-бурый оттенок, менее задернован, прослеживается густота корней растений, заметна плотность слоя от дернового горизонта, структура горизонта почвы - крупнокомковатая или глыбистая.
15-73	Ярко заметный переходный горизонт, имеет светло-серую с буроватым оттенком, слабо уплотнен, непрочная глыбисто-комковато-ореховатая структура, пронизан обильными выделениями карбонатов. Почвенная фауна выражена относительно слабее. Граница волнистая переход плавный, слабо заметны поры растений.
73-75	Влажный, сероватый, среднесуглинистый глинистый слой с мелкозернистой структурой, заметно уплотнение, граница волнистая, переход плавный, слабо заметны поры растений.
75-100	Граница имеет серовато светлую окраску. Почвенная фауна отсутствует. Граница волнистая переход плавный, слабо заметны поры растений, увлажненная, мелкопризматическая и сланцеватая, комковатая структура.

Горные темно-каштановые почвы: гумус от 4,5 до 6%, от светло-каштановых почв отличается тяжелым механическим составом и повышенным содержанием иловатых частиц, почва характеризуется высокой порозностью, хорошо оструктуренно. Почвообразующими породами являются неоднородные пролювиально-делювиальные отложения, лежащие на коренных породах. Механический состав легко– и среднесуглинистый, в составе преобладает средний и мелкий песок, крупные пылеватые частицы, придающие почве некоторую облегченность и хрящеватость. В гумусовом горизонте содержится 2,5-3 % перегноя с равномерным уменьшением органических веществ вниз по профилю почвы. Увлажнение почвы составляет 20-35 %.

Почвенный разрез №7. Правый берег реки Кашкатор.

Геоботаническое описание №9. Н= 2750 м н.у.м., западная экспозиция склона с уклоном - 25°, (GPS).

Растительность: Елово-разнотравная группа ассоциаций со снытью горной в верхней зоне лесо-лугово-степного пояса. Проективное покрытие травяного покрова составляет 35-40%.

Почва – бурая горно-лесная типичная (таблица 2.7., рисунок 2.7.).

Таблица 2.7. Описание почвенного разреза №7.

Глубина разреза, см	Характеристика почв
0-10	Лесная подстилка, состоящая из хвои, веточек и шишек различной степени разложения, сверху более свежая, темно-бурая, книзу меняется на черный оттенок. Горизонт постепенно переходит в органогенный горизонт.
10-17	Перегнойный органогенный горизонт. Темно-бурая почти черная порохо-видная масса, легкая, рыхлая, свежая, пронизан корнями растений, а также тонкими и средними корнями ели. Заметно переходит в минеральный горизонт.
17-30	Темно-бурый, с коричневым оттенком, пылеватый, тяжелый суглинок, структура пылевато-мелкозернистая, сравнительно слабо уплотненный, много тонких и средних корней ели.
30-46	Оттенок светло-желтый, свежий, средний суглинок, средне уплотненный, увалистый, в структурных отдельностях светло глянцевые пятна. Граница плавная, переход плавный. Заметны поры тонких корней ели.

46-62	Бурый, пылеватый суглинок, средне уплотненный, свежий, бесструктурный, пористый. Граница четко выражена, переход четкий. Слабо заметны корни растений.
62-85	Светло-бурая суглинистая почва с палевым оттенком.

Бурые горно-лесные типичные почвы: характерна более мощная лесная подстилка и хорошо выраженный органогенный горизонт высокой потерей от прокаливания. Гумуса эти почвы содержат несколько меньше 5-8%. По механическому составу преимущественно тяжелосуглинистые. Поверхность почвы неровная с небольшими бугорками и ямами, образованными пеньками деревьев.

Почвенный разрез №8. Правый берег реки Кашка-Тор.

Геоботаническое описание № 10. Западная экспозиция склона с уклоном - 35°, 2942 м н.у.м. (GPS).

Растительность: Манжетково-гераниевая группа ассоциаций с мятликом луговым в арчовом ельнике. Проективное покрытие травяной растительности составляет 70%.

Почва – бурая горно-лесная кислая (таблица 2.8., рисунок 2.8.).

Таблица 2.8. Описание почвенного разреза №8.

Глубина разреза, см	Характеристика почв
0-16	Подстилка рыхлая, свежая, состоящая из полуразложившейся подстилки. Наблюдается постепенный, неровный переход в нижележащий горизонт. На границе этого органогенного горизонта и нижележащего минерального много корней ели и постилающей арчи, расположенных горизонтально.
6-29	Светло-бурый цвет с желтоватым оттенком, неоднородно окрашенный суглинок, содержащие органические остатки, пороховидный, увлажненный, рыхлый. Пронизан корнями травяных растений и ельника.
29-45	Суглинок, в основном бурого цвета, местами светло-желтыми оттенками, комковатый, уплотненный. Реже встречаются корни и поры растений.
45-80	Светлый суглинок, рыхлый, средне-уплотненный, сухой, встречаются тонкие корни растений.

Бурая горно-лесная кислая почва: Почва находится на предподзолистой стадии развития, почва достигает наиболее полного своего развития как тип почвообразования со свойственными им характерными чертами типа бурых лесных почв. Более гумусированы как по абсолютному содержанию гумуса, так и по мощности гумусовых горизонтов. Имеет более темную окраску, особенно в верхнем горизонте. Содержание гумуса 9%. По механическому содержанию относятся к тяжелосуглинистым почвам. Поверхность почвы не ровная. Увлажненность в верхнем горизонте более высокая - 35%, в нижнем слое - 20%.

Почвенный разрез №9. Правый берег р. Кашка-Тор (Карабаткак).

Геоботаническое описание № 13. Западный склон с уклоном 40°, 3226 м н.у.м. (GPS).

Растительность: Альпийские луга. Осоково-луковая группа ассоциаций с пахучеколосником альпийским, проективным покрытием достигающим 80-90%.

Почва – высокогорная бурая (таблица 2.9.).

Таблица 2.9. Описание почвенного разреза №9.

Глубина разреза, см	Характеристика почв
0-6	Корка светло-серая, с палевым оттенком.
6-31	Серый, с темным оттенком, среднесуглинистый, разламывается вертикально, свежий, плотный, встречаются корневые волоски.
31-36	Серовато-темный, среднесуглинистый, имеют карбонатные выделения, разламывается вертикально, комковатый, уплотненный, свежий. Редко встречаются корневые волоски.
36-70	Серый, среднесуглинистый, содержат мелкие корневые волоски, хрящ, разламывается вертикально, структура не выражена, плотный, увлажненный.
70-75	Серый, тяжелосуглинистый, включает мелкие камешки, слабопористый, уплотнен, глыбисто-комковатый, легко распадается.

Высокогорная бурая почва: По механическому составу средние пылеватые суглинки. Ниже горизонты скелетны, т.е. содержат включения гальки, щебня, крупно зернистого песка. В образовании структуры почв, особенно в поверхностном горизонте, большую роль играют процессы попеременного замерзания и оттаивания. Отличается невысоким содержанием гумуса от 1,5 до 2%. Мощность мелкоземистого слоя различна в зависимости от геоморфологических условий формирования почвы. Увлажнение высокое 65%.

3. Современное состояние растительного покрова горных экосистем северного и центрального Тянь-Шаня

3.1. Растительный покров Прииссыккулья

Растительность котловины озера Иссык-Куль и ее горного обрамления разнообразна и имеет переходный характер, т.е. соединяет черты растительного покрова Северо-Тянь-Шаньской и Внутренне- Тянь-Шаньской провинций [31]. Своеобразие растительного покрова Прииссыккулья объясняеются орографическими, геоморфологическими, климатическими, гидрографическими и эдафичсекими особенностями района. Различное сочетание абиотических факторов среды обуславливают многообразие местообитаний, в пределах каждого пояса.

Иссык-Кульская котловина обладает своебразной ассиметрией поясности. Нельзя не согласиться с авторами трудов [31], что на западе серия поясов начинается с пустынного пояса на приозерной равнине, а на востоке сухие степи простираются от самого побережья, как например на полустрове Кара-Булун, в устье р. Чон-Кызыл-Суу (район исследования).

Согласно геоботаническому районированию Прииссыккулье образует самостоятельную провинцию, благодаря особенностям растительного покрова, не схожих с другими геоботаническими провинциями Кыргызстана. Иссык-Кульская провинция в свою очередь разделена на 2 округа: Западно-Иссыккульский и Восточно-Иссыккульский. В первом округе выделены 3 района, а во втором округе – 2 [28].

Большое число исследователей работали над изучением природы Прииссыкулья, особое внимание растительности и флоре уделяли Е.В. Никитина, В.И. Грубов, В.И. Ткаченко, Р.Р. Криникая, Н.Д. Кожевникова, Т.И. Солодкова и др.[20].

В результате собран богатейший фондовый материал, который хранится в ТШВНЦ-Тянь-Шаньском высокогорном научном центре (ранее назывался ТШФГС - Тянь-Шанская физико-географическая станция).

Традиционные положения биогеографической науки также позволяют трактовать ее, как науку о географических закономерностях формирования биоразнообразия [33]. ООН по окружающей среде и развитию была принята "Конвенция о биологическом разнообразии" [Convention of Biological Diversity of the IUCN. — Rio de Janeiro, 1992.], к которой присоединилось большинство стран на планете, сложнейшая и многообразнейшая проблема биоразнообразия приобрела многоплановый и междисциплинарный характер.

«Всемирный фонд дикой природы» дало определение биоразнообразию и рекомендовало рассматривать её на трех уровнях: генетическом, видовом и экосистемном. Биологическое разнообразие на видовом уровне охватывает весь набор видов на Земле от бактерий и простейших до царства многоклеточных растений, животных и грибов. Полувековые и вековые колебания климата и все возрастающее антропогенное давление на природу, разрушает исторически сложившиеся ландшафтно-географические зоны, наносит существенный урон водным экосистемам, загрязняет атмосферу и ставит под угрозу существующее биоразнообразие. Многие виды растений под влиянием антропогенных факторов сократили свой ареал, плотность популяций, стали редкими. Многие растительные сообщества сильно трансформированы или просто уничтожены.

В данной подглаве приведены результаты исследований краткого обзора флоры Прииссыккулья с составлением предварительного списка растений, выявление редких, эндемичных и охраняемых видов и фитоценозов, распределение растений по основным экосистемам и по экологическим группам, где основным критерием стала водообеспеченность места обитания.

Краткий обзор флоры Прииссыккулья

Территория Кыргызстана отличается высокой степенью концентрации биоразнообразия на видовом уровне. Концентрация видов на территории Кыргызстана на 2-3 порядка выше, чем в среднем для мировой суши и на порядок выше, чем в большинстве стран Центральной Азии [34].

Современные ботанические исследования, проводимые в Иссыккульской котловине с 80-90-х годов, отражены в работах ряда авторов. Султанова Б.А. (1989) для Терскей Алатоо приводит 1193 вида высших растений, относящихся к 456 родам и 86 семействам. По данным Касиева К.С. [35,36] во флоре Биосферной Территории «Ысык-Кель» насчитывается 1034 вида высших растений, относящихся к 463 родам и 77 семействам. Кенжебаевой Н.В. [37] во флоре бассейна р. Чон-Аксуу (южный макросклон хр. Кунгей Алатоо) зарегистрировано 584 вида высших растений. Султановой Б.А., Лазьковым Г.А., Кенжебаевой Н.В [38] во флоре Иссык-Кульского заповедника было выявлено 188 видов, относящихся к 123 родам и 34 семействам. Сабировой Ж.Н. [39] для флоры пустынно-степных растительных сообществ Западно-Центрального Прииссыккулья представлено 236 видов высших растений, относящихся к 37 семействам.

Согласно ботанико-географическому районированию Иссыккульская котловина относится к Голарктическому царству, Древнесредиземноморскому подцарству, Ирано-Туранской области, Центральноазиатской подобласти, Джунгаро-Тяньшанской провинции и подразделяется на Западно-Иссыккульский район и Восточно-Иссыккульский район [40].

Флора Тянь-Шаня, в частности Иссыккульской котловины, сформировалась в кайнозойской эре в неогене (миоцене) в результате альпийского орогенеза [41]. Нами составлен предварительный флористический список растений Прииссыккулья (Иссыккульской котловины), который подлежит дополнению еще не обнаруженных и не учтенных видов, и в него не включены интродуцированные растения. Инвентаризация флоры изучаемого региона проводится для дальнейшего сравнения и анализа динамики изменения количества основных таксонов (видов, родов, семейств, классов). Во флоре Прииссыккулья предварительно зарегистрировано 1279 видов высших растений из 483 родов, 88 семейств, 6 классов и 5 отделов. По разнообразию жизненных форм растений [42] выделены: деревья - 13, полукустарники–16, полукустарнички – 17, кустарники – 80, кустарнички - 10, многолетники – 865, двулетники -71, однолетники – 207.

Соотношение числа видов высших растений, произрастающих в Иссыккульской котловине, к Мировым показателям и Кыргызстана [34] отражено в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Биологическое разнообразие высших растений

Группы	Мир	Кыргызстан		Прииссыккулье		
	Число видов	Число видов	% от мирового кол-ва видов	Число видов	% от мирового кол-ва видов	% от кол-ва видов в Кыргызстане
Высшие растения	248428	3786	1,52	1279	0,51	33,8

Наиболее уязвимой группой в растительном покрове являются исчезающие, эндемичные, редкие виды растений, которые первые реагируют на климатические изменения и антропогенное воздействие. Сокращение их численности в природе вплоть до исчезновения отдельных популяций неизбежно ведет к обеднению и сокращению всего биоразнообразия.

На основании исследовательских работ [43,44,45] были выделены уязвимые группы растений изучаемого региона.

Из эндемичных видов - *Stipa bungeana* Trin. (Ковыль Бунге), *Hedysarum enaffae* Sultanova (Копеечник Енафы), *Stelleropsis issykkulensis* Pobed. (Стеллеропсис иссыккульский). Реликтовые растения Прииссыккулья - *Achnatherum splendens* (*Lasiagrostis splendens*) Чий блестящий из семейства Злаки (Gramineae/Poaceae). Это реликтовое растение плейстоценового времени, имеет широкую экологическую амплитуду. Чиевая формация у ботаников классифицируется как пустыня, степь, луг, саванна, реликтовая саванна. Большой диапазон почвогрунтов, освоенных чием и чийниками, обьясняется высокой их приспособляемостью к условиям среды, из-за чего одни исследователи рассматривают их типичный представитель степной растительности, другие – к полупустыням, третьи – к саваннам или саванноидным степям, четвертые придерживаются принятого народного наименования «чий». Заросли чия можно характеризовать как геоботаническое ландшафтное своеобразное образование. Иссыккульская котловина в недавнем прошлом изобиловала зарослями чия блестящего – чийниками, которые в бассейне озера занимали обширные площади. С

развитием в котловине земледелия чийники стали распахиваться и площадь формации резко сократилась, и, на данный момент, считаются исчезающей формацией.

К уникальным и редким сообществам Прииссыккулья относятся темнохвойные леса из ели Шренка; солянковые пустыни с доминированием селитрянки сибирской (*Nitraria sibirica*), симпегмы Регеля (*Sympegma regelii*), и крупнодерновинные степи из чия блестящего. Западная часть котловины оз.Иссык-Куль – единственное местообитание селитрянковых пустынь на территории Кыргызстана. Особо внимания здесь заслуживают также галофитно-криофитные ценозы на каменисто-щебнистых сильно уплотненных отложениях. Они представлены формациями: симпегмово-поташниковая (Lepyrodiclis stellarioidies- Sympegma regelii), солнцецветово-реомюриевая (Reaumuria-Helianthemum), акантолимоново-вьюнковая (Convolvulus-Acantholimon), парнолистниково-пашенниковая (Lepyrodiclis-Zygophyllum), злаково-полынно-солянковая (Salsola-Artemisia-Poaceae). Основное флористическое ядро флоры формации – это центральноазиатские виды растений. Пустыни Иссыккульской котловины находятся на грани исчезновения. Они отличаются от иранской среднеазиатской пустынной флоры.

Краснокнижные виды растений Прииссыккулья - *Tulipa kolpakowskiana* Regel - Колпаковский мандалагы - Тюльпан Колпаковского, *Anemone obtusiloba* D.Don - Ветреница туполопастная, *Sibiraea tianschanica* Pojark. - Сибирка тяньшанская, *Chesneya villosa* (Boriss.) Kamelin et R. Vinogr. - Чезнея мохнатая, *Kaufmannia semenovii* (Herder) Regel - Кауфмания Семенова *Tianschaniella umbellifera* B.Fedtsch.ex Popov. - Тяньшаночка зонтиконосная, *Saussurea involucrata* (Kar.et Kir) Sch.Bip. - Соссюрея обернутая, *Pyrethrum leontopodium* (C. Winkl.) Tzvelev - Поповник (ромашник) эдельвейсовидный.

Распределение высших растений по основным экосистемам Прииссыккулья

Все виды высших растений, произрастающих в Прииссыккулье, условно распределены по экосистемам [46] (таблица 3.2., рисунок 3.1.).

Таблица 3.2 Растительный покров горных экосистем Прииссыккулья.

Типы экосистем	Высота над уровнем моря, м	Кол-во видов	Эдификаторы
Приозерные *(прибрежные)*	1614 - 1630	81	Хвойник промежуточный, Тростник обыкновенный, Мортук восточный, Облепиха крушиновая и др.
Предгорные	1630 - 2100	339	Ковыль кавказский, Курчавка колючая, Кохия стелющаяся, Симпегма Регеля, Чингил серебристый и др.
Лесные *(тугайные или прирусловые, еловые, арчовые)*	2100 - 3100	506	Ель Шренка, Можжевельник ложноказацкий, Коротконожка лесная, Ежа сборная, Рябина тяньшанская, роза Альберта и др.
Скальные	2600-3100	144	Пузырник ломкий, Костенец северный, Очиток Эверса, Ромашник пиретроидный и др.
Приледниковые	3100 - 3340	137	Оксиграфис ледниковый, Ореобластус весенный, Сиббальдия четырехтычиночная, Астрагал снежный, Шульция белоцветковая, Горечавка холодная и др.

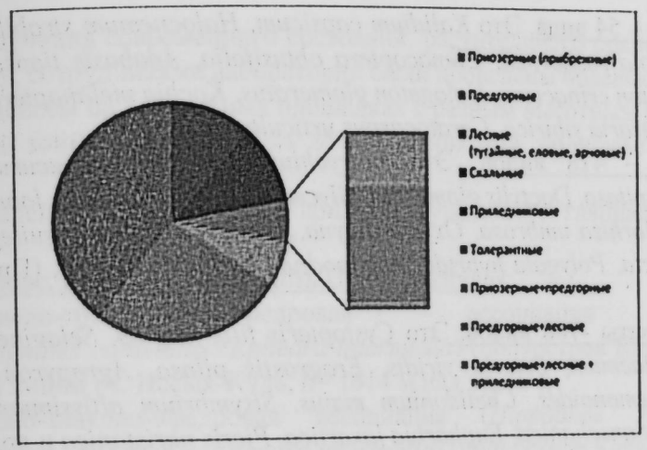


Рис. 3.1. Распределение растений по основным типам экосистем Прииссыккулья [46]

Некоторые виды растений, частота встречаемости которых охватывает несколько экосистем, выделены в ниже следующие группы:

Приозерные (прибрежные) и Предгорные – (23). Это *Achnatherum splendens, Polygonum aviculare, Polycnemum arvense, Chenopodium botrys, Ch. foliosum, Ch. glaucum, Ch. album, Atriplex tatarica, A. centralasiatica, Ceratoides latens, Salsola collina, S. iberica, Climacoptera brachiata, Halogeton glomeratus, H. arachnoideus, Portulaca oleracea*, др.

Предгорные и Лесные (тугайные или прирусловые, еловые, арчовые) – (46). Это *Halerpestes sarmentosa, Ranunculus natans, Berberis heteropoda, B. oblonga, Barbarea vulgaris, Rorippa islandica, Potentilla orientalis, P. supina, Sanguisorba officinalis, Conium maculatum, Carum carvi, Senecio nemorensis, Tussilago farfara, Achillea millefolium* и др.

Предгорные, Лесные и Приледниковые – (3). Это *Festuca valesiaca, Crocus alatavicus, Papaver croceum.*

Распределение высших растений по экологическим группам (по отношению к увлажненности местообитания)

Экологические группы растений Прииссыккулья выделены по Раменскому Л.Г. [47], Шенникову А.Г. [48, с. 133-192] и их соотношение проиллюстрировано на диаграмме (рисунок 3.2.).

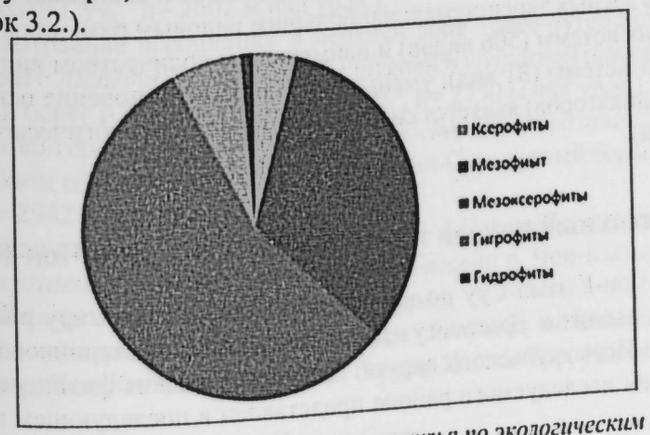


Рис. 3.2. Распределение растений Прииссыккулья по экологическим группам

Ксерофиты – 54 вида. Это *Kalidium capsicum, Halocnemum strobilaceum, Suaeda acuminata, Salsola roshevitzii, Climacoptera obtusifolia, Anabasis tianschanica, Iljinia regelii, Nanophyton erinaceum, Halogeton glomeratus, Kochia melanoptera, Zygophyllum macropodum, Nitraria sibirica, Ceratocarpus urticulosus* и др.

Мезофиты – 418 видов. Это *Botrychium lunaria, Alopecurus ventricosus, Deschampsia cespitosa, Dactylis glomerata, Glyceria plicata, Veratrum lobelianum, Gagea filiformis, Dactylorhiza umbrosa, Oxyria digyna, Trollius altaicus, Aquilegia atrovinosa, Anemone protracta, Polygala hybrida, Aegopodium kashmiricum,* др. (Приложение 2, - рисунок 1.).

Мезоксерофиты -708 видов. Это *Cystopteris filix-fragilis, Selaginella aitchisonii, Botriochloa ischaemum, Setaria viridis, Eragrostis pilosa, Agropyron czimganicum, Paraquilegia anemonoides, Chelidonium majus, Sisymbrium altissimum, Cryptospora falcata, Cerasus tianschanica, Euphorbia jaxartica, Picris nuristanica* и др.

Гигрофиты – 84 вида. Это *Equisetum palustre, Typha latifolia, Sparganium stoloniferum, Triglochin palustris, Alisma plantago-aquatica, Sagittaria trifolia, Butomus umbellatus, Catabrosa aquatica, Scirpus tabernaemontani, Bolboschoenus maritimus, Baeothryon pumilum, Eleocharis meridionalis, Juncellus pannonicus, Juncus hybridus, Rhinanthus songaricus, Pedicularis rhinanthoides, Halerpestes sarmentosa* и др.

Гидрофиты – 15 видов. Это *Potamogeton pectinatus, Potamogeton natans, Najas marina, Vallisneria spiralis, Batrachium trichophyllum, Ranunculus natans, Myriophyllum spicatum, Hippuris vulgaris, Utricularia vulgaris*, др.

Таким образом, в результате краткого обзора растительного покрова Прииссыккулья предварительно выявлено 1279 видов высших растений. Это составляет 0,50% от Мировых и около 40% от Национальных показателей количества видов. Как таковой флористический список не приводится по причине обоснованности других целей и задач исследований в данной монографии. Уникальными и редкими видами растительных сообществ Прииссыккулья являются темнохвойные леса из ели Шренка, солянковые пустыни и крупнодерновинные степи из чия блестящего. Из видов растений, включенных в Красную книгу КР [45], встречаются 8 растений, имеющие статус уязвимых (VU) и подверженных опасности (EN) видов. Условное распределение высших растений Прииссыккулья по основным экосистемам позволило установить: крайний экологический пессимум наблюдается в приозерных (дефицит влаги) и приледниковых экосистемах (избыток влаги) и максимальный экологический оптимум в лесных экосистемах; наибольшим видовым разнообразием представлены лесные экосистемы (506 видов) и наименьшим количеством видов отличаются приозерные экосистемы (81 вид); уменьшение, либо исчезновение основных эдификаторов (биоиндикаторов) является сигналом изменения экологической среды (условий увлажнения).

3.1.1. Растительный покров экосистем бассейна реки Чон-Кызыл-Суу

Бассейн р. Чон-Кызыл-Суу по видовому составу и характеру распространения растительности входит в Джетыогуз-Джыргаланский – кустарниково-лесо-луговой район Восточно-Иссыккульского округа. Детальный анализ фитоценозов основных горных экосистем исследуемого района представлен в последующем пункте данной главы.

С целью изучения современного состояния растительного покрова бассейна р. Чон-Кызыл-Суу, сотрудниками лаборатории были проведены полевые исследования, описаны фитоценозы на 14 пробных площадках с разным высотным расположением (от прибрежной зоны оз. Иссык-Куль до приледниковой, подножье ледника Кара-Баткак).

Всего выделено 14 ассоциаций в аридном, гумидном и гляциально-нивальном поясах.

Аридный пояс, юго-восточная часть Прииссыккулья:

1.мирикариево-тростниково-эфедровая ассоциация (*Myricaria bracteata+Phragmites communis+Ephedra intermedia*) (полуостров Кара-Булун, в 200 м от береговой линии оз. Иссык-Куль, h= 1614 м.над ур. м.);

2.облепихово-злаково-эфедровая ассоциация (*Hippophae rhamnoides+Poa bulbosa+Agropyron cristatum + Ephedra intermedia*) (полуостров Кара-Булун, в 300 м от береговой линии оз. Иссык-Куль, h= 1614 м.над ур. м., уклон -2^0);

3.эфедрово-полынно-злаковая ассоциация (*Ephedra intermedia+Artemisia dracunculus+ Calamagrostis epigeios*) (полуостров Кара-Булун, в 1020 м от береговой линии оз. Иссык-Куль, h= 16115 м.над ур. м., уклон -3^0);

4.гармалово-злаково-эфемеровая ассоциация (*Peganum harmala+ Bromus tectorum+ Poa bulbosa*) (правый берег р. Чон-Кызыл-Суу. h=1632 м.над ур.м.);

5.цикориево-злаково-полынная ассоциация (*Cichorium intybus+Dactylis glomerata+Artemisia absinthium*) (правый берег р. Чон-Кызыл-Суу. Поверхность $II_{оп}$ голоценовой террасы, в 3900 м от береговой линии оз. Иссык-Куль, h= 1650 м.над ур.);

6.горчицево-разнотравная ассоциация (*Sinapis arvensis + Matricaria recutita*) (правый берег р. Чон-Кызыл-Суу, юго-восточная часть с. Кызыл-Суу, h= 1811 м.над ур.м., уклон - 8^0);

Гумидный пояс, бассейн р. Чон-Кызыл-Суу:

7.полынно-злаковая ассоциация (*Artemisia dracunculus+ Stipa caucasica*) с Елью Шренка (*Picea schrenkiana*) (правый берег р. Чон-Кызыл-Суу, Лесной кордон, 800 м ниже гидропоста, h= 2103 м.над ур.м.) Нижняя граница лесо-лугово-степного пояса;

8.манжетково-разнотравная ассоциация (*Alchemilla retropilosa+ Taraxacum officinale+ Polygonum viviparum*) средняя зона лесо-лугово-степного пояса (левый берег р. Чон-Кызыл-Суу, h= 2602 м.над ур.м.);

9.елово-разнотравная ассоциация в верхней зоне лесо-лугово-степного пояса (*Picea schrenkiana+ Alchemilla retropilosa+ Polygonum viviparum*) (бассейн р. Чон-Кызыл-Суу, правый берег р.Кашка-Тор, уклон – 25^0, h= 2750 м.над ур.м.);

10.манжетково-гераниевая ассоциация (*Alchemilla retropilosa+ Geranium collinum*) в арчовом ельнике (бассейн р. Чон-Кызыл-Суу, правый берег р.Кашка-Тор, уклон – 35^0, h= 2942 м.над ур.м.);

11.манжетково-осоково-злаковая ассоциация (*Alchemilla retropilosa+ Carex melananta+ Poa pratensis*) арчового фитоценоза (бассейн р. Чон-Кызыл-Суу, правый берег р.Кашка-Тор, уклон – 35^0, h= 3115 м.над ур.м.);

12.можжевелово-термопсисовая ассоциация (*Juniperus turkestanica+Thermopsis alpina*) (бассейн р. Чон-Кызыл-Суу, правый берег р.Кашка-Тор, уклон – 35^0, h= 3115 м.над ур.м.);

Нивальный пояс, бассейн р. Чон-Кызыл-Суу:

13. пахучеколоснико-осоково-луковая ассоциация (*Anthoxanthum alpinum+Carex melanantha+Allium semenovii*) (правый берег р.Кашка-Тор, уклон – 40^0, h = 3226 м.над ур.м.);

14. ивово-разнотравная ассоциация (*Salix alatavica+Sibbaldia tetrandra+Leonthopodium ochroleucum*) (подножье ледника Кара-Баткак, уклон – 40^0, h= 3343 м.над ур.м.).

В биогеографическом отношении в бассейне р. Чон-Кызыл-Суу все высотные пояса делятся на 3 типа: аридный, гумидный, нивальный. Согласно поясной экологической схеме местообитаний [9], в каждом поясе различают местообитания растительности со своим характером увлажнения (водообеспеченности). По характеру увлажнения выделены 3 основных типа растительности бассейна р. Чон-Кызыл-Суу:

I. Растительность аридного пояса: 1) местообитания прибрежных полос и водоемов с грунтовым увлажнением; 2) местообитания сухостепного пояса с грунтово-атмосферным увлажнением; 3) местообитания атмосферного увлажнения степного пояса;

II. Растительность гумидного пояса 1) местообитания атмосферного увлажнения лесо-лугово-степного пояса (горные степи, горные луга, горные леса); 2) местообитания атмосферного увлажнения субальпийского пояса; 3) местообитания атмосферного увлажнения альпийского пояса; 4) местообитания грунтового увлажнения гумидных поясов;

III. Растительность нивального пояса.

3.2. Растительный покров экосистем хребта Кыргызский Ала-Тоо

Флора и растительность горных экосистем Кыргызского Ала-Тоо начались изучаться с середины IX века и продолжается по нынешнее время. В 1856 году восточную оконечность хребта первым посетил Семенов П.П., затем в 1864 году Н.А. Северцов. В начале XX века проводились долгосрочные экспедиции известных приезжих ученых такими, как Р.И. Аболиным и М.М. Советкиной и многими другими исследователями. И только экспедиции местных ботаников, организованные научными учреждениями, в то время, в Киргизской АССР нашли свое отражение в научных публикациях и способствовали накоплению гербарного материала. Кроме экспедиционных геоботанических исследований велись стационарные исследования.

На водоразделах рек Аламедин-Ала-Арча Никитина Е.В. [49,50] проводила стационарные наблюдения растительности и флоры хребта Кыргзского Ала-Тоо, где из-за разницы физико-географических условий, имеющейся в разных его частях, условно разделяет хребет на несколько участков: восточный конец, сусамырский участок, «луго-лесной» участок, западный конец хребта.

Изучением растительности междуречья Аламедин и Ала-Арча и ее хозяйственным значением занималась Рысалиева А.Р. [51]

Исаковой Т.В. проведены многолетние исследования по растительности и флоре Государственного природного парка «Ала-Арча» [52, 53].

3.2.1. Растительный покров экосистем бассейна реки Ала-Арча

В 2012 году сотрудниками лаборатории ГЭ, в ходе экспедиционных работ, были выполнены: геоботанические описания 8 участков, отличающихся высотным расположением; составлен предварительный список растений елового леса и высокогорья Ала-Арчинского Государственного природного парка; классификация растительного покрова по типам экосистем, основным жизненным и экологическим (по отношению к увлажненности места произрастания) формам [54].

Геоботанические описания проводились на разных высотных поясах:

Участок №1. Пояс лесолуговой - подпояс еловых лесов на высоте 2100-2700 м н.у.м. образован *Picea schrenkiana* и имеет парковый характер. Занимает в основном юго-западные, юго-восточные крутые склоны. Почвы горные черноземно-лесные. Формация из *Picea schrenkiana* образует следующие ассоциации: арчово-еловая, рябино-еловая, ивово-еловая, разнотравно-еловая. Травостой слагают *Trisetum spicatum, Poa pratensis, Vicatia atrosanguinea, Doronicum oblongifolium, Cicerbita azurea, Fragaria vesca* и др. Из древесно-кустарниковых растений встречаются *Salix iliensis, Juniperus semiglobosa, Sorbus tianschanica, Lonicera microphylla, Lonicera karelinii, Atragene sibirica* и др. Из-за чрезмерной рекреационной нагрузки (массовый приток туристов, отдыхающих и т.п.) в данной зоне наблюдается смена мезофильных лесных, кормовых в хозяйственном отношении видов на более устойчивые к вытаптыванию слабо поедаемые растения. Это *Plantago depressa, Astragalus alpinus, Trifolium repens, Alchemilla retropilosa*. Растительный покров угнетенный, прижатый «ковровый», проективное покрытие составляет 75-80%.

Участок №2. В подпоясе еловых лесов на галечниках (h=2100-2700 м) встречаются следующие кустарники: *Myricaria bracteata, M. squamosa, Salix alatavica*; из травянистых растений: *Rhinanthus songaricus, Euphrasia regelii, Erigeron schmalhausenii, E. tianchanicus M. тяньшанский, Androsace maxima, A. septentrionalis П. северный, Papaver croceum, Hierochloe odorata, Calamagrostis epigeios, Trisetum spicatum , Melica altissima, Agropyron alatavicum, Elymus sibiricus* и др.

Участок №3. Растительность скал и осыпей, находящихся в поясе елового леса, представлена в основном такими видами, как *Cystopteris fragilis, Asplenium septentrionale, Saxifraga sibirica, Viola rupestris, Sedum ewersii, Chamaenerion angustifolium, Rosularia paniculata*, др.

Участок №4. Пояс криофитных среднетравных (субальпийских) лугов на высоте 2200-2800 м н.у.м..Расположены выше пояса елового леса и представлены преимущественно флемисовой *Phlomoides oreophila*, манжетковой *Alchemilla retropilosa* формациями и можжевеловым стлаником из *Juniperus pseudosabina*. Эти формации сформировались в результате многовекового бессистемного выпаса скота. Флемисовую формацию образуют флемисовая, флемисово-типчаковая, примулово-флемисовая, разнотравно-флемисовая ассоциации. Манжетковая формация состоит из разнотравно-манжетковой, гераниево-манжетковой, флемисово-манжетковой групп ассоциаций. В травостое обычны *Festuca valesiaca, Carex melanantha, Ligularia alpigena, Thermopsis alpina, Allium atrosanguineum, Polygonum songoricum, Pulsatilla campanella, Erigeron aurantiacus, Phleum alpinum, Primula algida, Potentilla gelida, Ranunculus songaricus, Viola acutifolia, Leontopodium ochroleucum, Ranunculus alberti, Anemone protracta* и многие другие. Травостой изреженный. Проективное покрытие

колеблется от 70 до 85%. Субальпийская зона довольно активно посещается туристами, поэтому испытывает существенную рекреационную нагрузку.

Участок №5 Пояс криофитных низкотравных (альпийских) лугов на высоте 2800-3500 м н.у.м. представлены кобрезиевой, осоковой, флемисовой формациями из *Kobresia humilis, Carex stenocarpa, Phlomoides oreophila*. Кобрезиева формация образует несколько ассоциаций: типчаково-кобрезиевая, горцово-кобрезиевая, разнотравно-кобрезиевая. Травостой слагают обычные виды: *Kobresia humilis, Leontopodium ochroleucum, Potentilla nivea, Thalictrum alpinum, Erigeron heterochaeta, Gentiana karelinii, Festuca tianschanica, Ptilagrostis mongolica, Carex melanantha, Poa alpina* и др. Травостой сомкнутый. Проективное покрытие составляет 70-90%. Осоковая формация представлена основными ассоциациями: типчаково-осоковая, разнотравно-осоковая, горцово-осоковая. Обычные в травостое виды растений: *Festuca valesiaca, Kobresia capilliformis, Potentilla gelida, Lloydia serotina, Polygonum viviparum, Cerastium cerastoides, Phleum alpinum, Allium atrosanguineum, Ligularia alpigena, Aster vvedenskyi* и др. Травостой хорошо сомкнутый. Проективное покрытие составляет 85-95%. Флемисовая формация состоит из разнотравно-флемисовой, лютиково-флемисовой, манжетково-флемисовой ассоциаций. В травостое преобладают виды *Alchemilla tianschanica, Geranium collinum, Festuca valesiaca, Ranunculus alberti, Schulzia albiflora, Gentiana algida, Eritrichium villosum, Dracocephalum imberbe, Trollius lilacinus, Taraxacum alpigenum, Oxyria digyna, Deschampsia cespitosa* и др. Травостой довольно сомкнутый. Проективное покрытие – 60-80%.

Участок №6 Пояс криофитных подушечников на высоте 2800-3700 м н.у.м. образуют сиббальдиевые, родиоловые, примуловые сообщества Формируются на каменистых, каменисто-щебнистых склонах альпийского пояса. (Приложение 2, рисунок 15). Характерные виды *Sibbaldia tetrandra, Primula turkestanica, Rhodiola gelida, Rh. coccinea, Thylacospermum caespitosum, Oxyria digyna, Callianthemum alatavicum, Papaver tianschanicum, Smelovskia calycina, Oxytropis chionobia, Dracocephalum imberbe, Saussurea gnaphalodes, Pyrethrum leontopodium, Saxifraga macrocalyx, Chorispora bungeana, Draba oreades, Saxifraga cernua, Geranium saxatile, Androsace sericea, Waldheimia tomentosa, Paraquilegia caespitosa, Dracocephalum stamineum*, др.

Участки №7 и №8 Интрозональная растительность (несформированные ценозы)-растительность скал, осыпей, галечников, каменистых склонов, озерных котловин, характерна для верхнего и среднего поясов, представлена в наших исследуемых территориях. По флористическому составу эти растительные группировки весьма своеобразны и зависят от пояса, в котором они находятся, от колебаний температуры, степени увлажненности, скопления мелкоземистых частиц, подвижности осыпей и др. Встречаются виды: *Rheum spiciforme, Allium oreophilum, Trisetum spicatum, Poa alpina, Pyrethrum karelinii, Pyrethrum leontopodium, Waldheimia tridactylites, Oxytropis chionobia, Saxifraga macrocalyx, Dracocephalum imberbe, Oxyria digyna, Androsace sericea, Sibbaldia tetrandra, Draba stenocarpa, Rhodiola gelida, Smelovskia calycina, Gastrolychnis apetala*, др.

На высоте 3700-4200 м н.у.м. и выше начинается гляциально-нивальный пояс, где растительность практически отсутствует.

По последним данным, флора Ала-Арчинского государственного природного парка насчитывает 760 видов высших растений (340 родов и 79 семейств) и 68 видов мхов [54]. Нами исследовались зоны елового леса и высокогорья (субальпийский и

альпийский пояса) и в результате было выявлено примерно 433 вида высших растений. В монографии предварительный список растений не приводится.

На основе предварительного флористического списка растений проведена классификация растительного покрова по экосистемам среднегорий и высокогорий, основным жизненным формам и экологическим группам. Классификация по экосистемам показала, что лесные составляют 264 видов, скальные - 64, приледниковые – 105. Жизненные формы представлены в большом разнообразии, а именно деревья - 7, полукустарники, полукустарнички - 5, кустарники, кустарнички - 42, многолетники - 339, двулетники - 20, однолетники – 20 видов. По отношению к увлажненности места произрастания распределение следующее: мезофиты-218, мезоксерофиты-199, гигрофиты-16 видов.

Таким образом, в результате собранных материалов выявлено, что видовая и численная насыщенность растительного покрова приледниковых экосистем очень мала. На площадке размером 1м^2 встречается всего до 3 видов, а на площадке 10м^2 отмечено лишь 7 видов. Отсутствие елового самосева в гляциально-нивальном высотном поясе бассейна р. Ала-Арча красноречиво свидетельствует, что ель Шренка, являясь холодоустойчивой породой, все же, не может произрастать в прибрежной зоне ледникового оз. Адыгене, чего не скажешь о еловом подросте у подножья языка ледника Кара-Баткак (бассейн. р. Чон-Кызыл-Су, Северный склон Терской Ала-Тоо).

3.3. Растительный покров экосистем бассейна реки Сары-Джаз

По схеме ботанико-географического районирования (флористического районирования) Кыргызстана [40] бассейн р. Сары-Джаз относится к Голарктическому царству - Древнесредиземноморскому подцарству – Ирано-Туранской области – Центрально-Азиатской подобласти - Кашгарской провинции - Центрально-Тяньшанскому району. Далее, согласно геоботаническому районированию по «Атласу Киргизской ССР», бассейн р. Сары-Джаз представляет собой Центральнотяньшанскую провинцию, которая дифференцируется два следующих пояса: 1) пояс субальпийских пустынь и степей – 2600-3400 м над уровнем моря; 2) пояс альпийских лугов, горных тундр и криофильных подушечников – 3400 (3800) - 4000 м над уровнем моря. Далее, Центральнотяньшанская провинция, в свою очередь, состоит из двух округов: Северо-Сарыджазский округ и Южно-Сарыджазский округ. Северо-Сарыджазский округ образован тремя районами: 1). Акшыйрак-Куйлюнский – лугово-степной с фрагментами ельников и тундр; 2). Верхнесарыджазский – лугово-степной с фрагментами ивняков, ельников; 3). Хан-Тенгрийский - тундрово-альпийско-луговой с широким развитием растительных группировок [28]. Для нас научный и практический интерес представляют два первых геоботанических района Северо-Сарыджазского округа, где произрастает ель Шренка, поскольку она является одним из главных растений-индикаторов древесной формы, сверхчувствительной к температурному режиму в высокогорных экосистемах.

В бассейне р. Сары-Джаз выделены основные типы растительности: горная тайга (ельники), белолесье (пойменные леса и кустарники), степи и лугостепи, мезофильные горные травники (субальпийские луга), криомезофильные травяные ковры (высокогорные пустоши, кобрезиевники), криоксерофильные подушечники, петрофиты, полукустарниковые пустыни [55].

В исследуемом районе по литературным данным предварительно выявлено 404 вида растений. Список растений в данной монографии не приводится. На основе

предварительного флористического списка растений условно проведено распределение растительного покрова по основным жизненным формам, экологическим группам и высокогорным экосистемам.

По жизненным формам растения в бассейне р. Сары-Джаз распределены следующим образом [42]: деревья - 2, полукустарники, полукустарнички - 10, кустарники, кустарники, кустарнички - 18, многолетники - 342, двулетники - 10, однолетники - 22 (рисунок 3.3.).

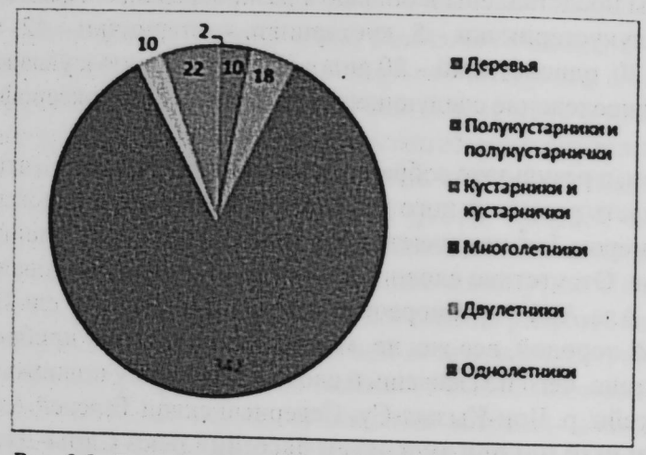


Рис. 3.3. Диаграмма распределения растений бассейна р. Сары-Джаз по основным жизненным формам

Диаграмма наглядно показывает, что многолетники в бассейне р. Сары-Джаз имеют доминирующее положение, тем самым являются эдификаторами среды, придавая устойчивость горным экосистемам с суровыми климатическими условиями. Группа с древесной и кустарниковой формой растений имеет самое меньшее видовое разнообразие и служит основным индикатором абиотических условий горных экосистем. В бассейне р. Сары-Джаз по приуроченности к типу местообитания с определенным режимом влаги [48] растения имеют следующие соотношения экологических групп: мезофиты - 169, мезоксерофиты - 213, гигрофиты - 19 и гидрофиты – 3 (рисунок 3.4.).

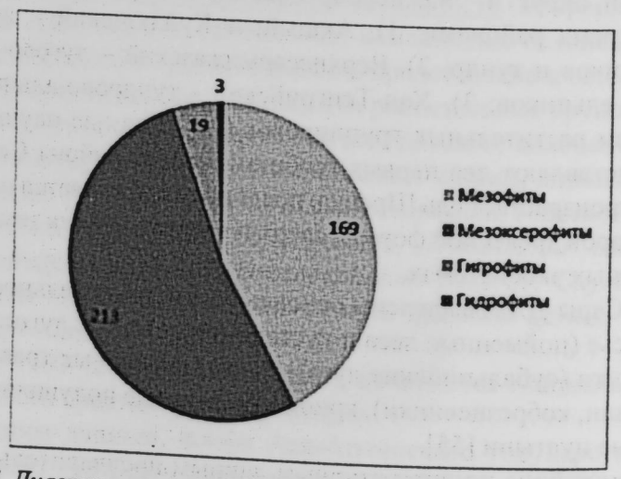


Рис. 3.4. Диаграмма распределения растений бассейна р. Сары-Джаз по основным экологическим группам

В исследуемом районе (бассейн р. Сары-Джаз) особый акцент был сделан на высокогорные экосистемы: лесные, скальные и приледниковые (Рисунок 3.5.).

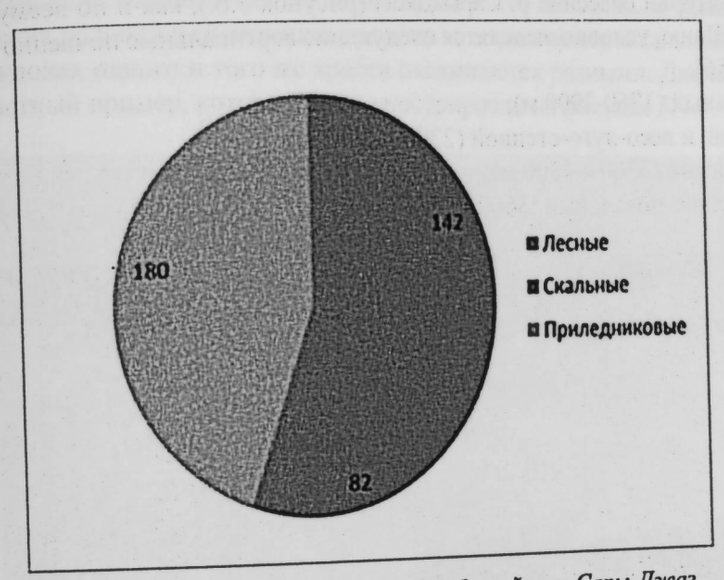


Рис. 3.5. Высокогорные экосистемы бассейна р. Сары-Джаз

Из рисунка 3.5. видно, что наибольшим видовым разнообразием обладают приледниковые экосистемы (180 видов), далее следуют лесные экосистемы (тугайные или прирусловые, еловые, арчовые, кустарниковые заросли) -142, и скальные - 82.

Как известно, наиболее уязвимой группой в растительном покрове являются исчезающие, эндемичные, редкие виды растений. Они первыми реагируют на климатические изменения и антропогенное воздействие, которые приводят, в конечном итоге, к сокращению их численности в природе и исчезновению отдельных популяций.

В бассейне р. Сары-Джаз встречаются пять видов растений занесенных в Красную книгу Кыргызской Республики [45]: *Allium semenovii* Regel -Лук Семенова, *Anemona obtusiloba* D.Don. - Ветреница туполопастная, *Berberis kaschgarica* Rupr. - Барбарис кашгарский, *Saussurea involucrata* (Kar.et Kir) Sch.Bip. - Соссюрея обернутая, *Pyrethrum leontopodium* (C. Winkl.) Tzvelev - Поповник эдельвейсовидный. Из эндемичных растений произрастают *Achnatherum saposhnikovii* (Roshev.) Nevski - Ачнатерум Сапожникова, *Puccinellia nudiflora* (Hack.) Tzvelev - Пуччинеллия голоцветковая, *Chorispora insignis* Pachom. - Хориспора замечательная, *Astragalus dschangartensis* Sumn. - Астрагал джангартский, *Seseli kaschgaricum* Pimenov et Kljuykov - Жабрица кашгарская, *Saussurea kara-artscha* Saposhn. - Соссюрея карарча, *Asterothamnus schischkinii* Tamamsch. - Астеротамнус Шишкина, *Artemisia saposhnikovii* Krasch. ex Poljak. - Сапожников шыбагы - Полынь Сапожникова.

Таким образом, по предварительным результатам во флоре бассейна р. Сары-Джаз насчитывается 404 видов высших растений и около 8 типов растительности. Условное распределение по экосистемам, жизненным и экологическим формам показало, что по устойчивости и видовому разнообразию доминирующее положение занимают приледниковые экосистемы, многолетние травянистые и мезоксерофитные растения.

3.3.1. Растительный покров экосистем бассейна реки Куйлю

На территории бассейна р. Сары-Джаз (рисунок 3.6.), как и по всему Центральному Тянь-Шаню, условно выделятся следующие вертикальные почвенно-растительные пояса [56]:

-Пустынный (1760-2900 м);
-Степной и лесо-луго-степной (2300 – 3900 м);
-Альпийский (3300 – 4300 м);
-Гляциально-нивальный (3600 – 4800 м).



Рис. 3.6. Лесо-луго-степной пояс, бассейн р. Сары-Джаз.
(фото участников кыргызско - российской экспедиции по дендрохронологии)

В некоторых боковых долинах р. Сары-Джаз, на склонах ориентированных строго на север, в поясе степей, имеются более или менее значительные площади ельников из ели Шренка [56]. В соответствии с рис. 12. мы можем наблюдать не только степной, но и лесо-луго-степной пояс.

Река Куйлю, образовавшаяся при слиянии горных речек Ашутор и Каракол, является природным рубежом между горными массивами Терской Ала-Тоо и Куйлю-Тоо. Правым бортом долины Куйлю является северо-западный склон хребта Куйлю-Тоо.

По литературным источникам долина р. Куйлю и прилегающие к ней склоны относятся к почвенной подпровинции Сары-Джазского бассейна Центрального Тянь-Шаня [57].

Высотный диапазон распространения ельников лежит в пределах 2500-2900 (3200) м над ур.м. Они не идут севернее долин Куйлю и Мукачи, на юге района по правобережью Сары-Джаза доходят до устья р. Уч-Куль, а по левобережью заходят на склоны хр. Кокшаал-Тоо [56].

Но эта градация не является абсолютным для всего бассейна. В зависимости от орографических условий и экспозиции пределы и характер вертикальной поясности на разных склонах одного и того же хребта оказываются разными. Для наглядности приведем частный пример, который проиллюстрирован на рисунке 3.7.

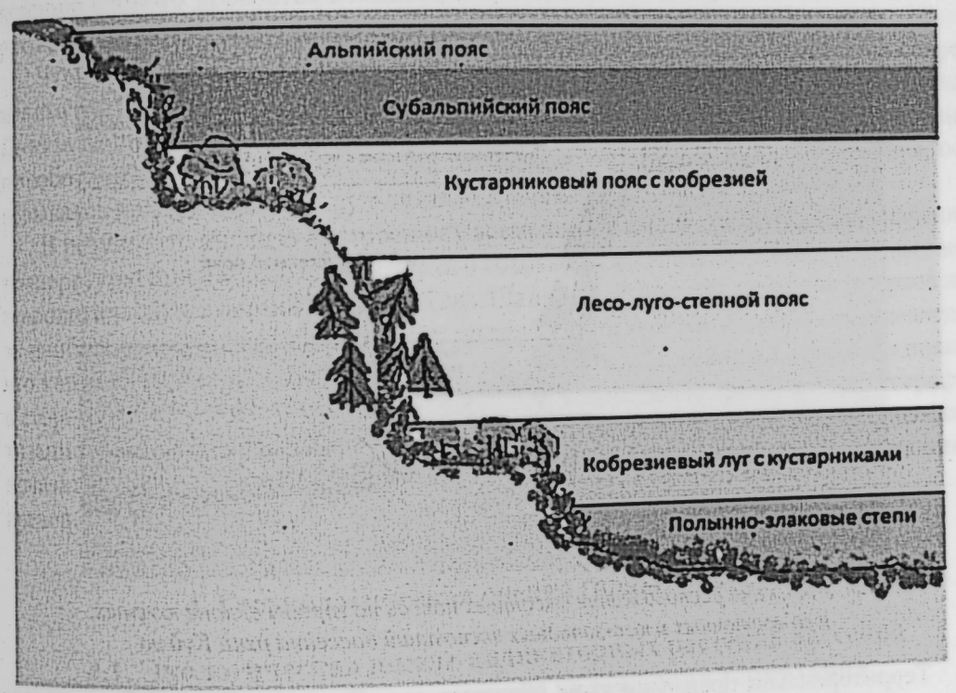


Рис. 3.7. Схема расположения высотных поясов на склоне северных, северо-восточных и северо-западных экспозиций бассейна реки Куйлю

В соответствии с рисунком 13 [58] , на склонах с благоприятными условиями для произрастания леса лесо-луго-степной пояс по нижней границе ее распространения окаймлен полосой кобрезиевого луга с кустарниками. У верхней же границы еловый лес соседствует с кустарниковым поясом, в травянистом покрове которого господствует кобрезия с редкими вкраплениями кустарников. В трудах Кожевниковой, посвященных ельникам Центрального Тянь-Шаня, отмечено, что еловый лес всюду приурочен к склонам северных экспозиций и потому встречается только по правым бортам правобережных притоков р. Сары-Джаз и левым левобережных.

С фитоценологической точки зрения еловый лес в данном рассмотренном случае имеет все условия расширить свои границы произрастания как вверх, так и вниз. Дело в том, что кустарниковая растительность и разреженный травяной покров создают благоприятные фитоусловия для всхожести семян и роста елового подроста. Но неблагоприятный температурный режим и недостаточная влажность почвы ограничивают распространение еловых ценозов.

Далее рассмотрим второй пример, который представлен на рисунке 14.

В соответствии с рисунком 3.8. [58] , на склонах с недостаточным увлажнением лесо-луго-степной пояс резко сменяется полынно-злаковыми степями без каких-либо переходов.

Согласно данным Кожевниковой Н.Д. [59], на территории бассейна р. Сары-Джаз существует только 2 типа ельника: 1.Карагановый ельник с преобладанием Караганы гривистой (*Caragana jubata*); 2.Ивовый ельник, где со-доминантом ели Шренка является Ива тяньшанская (*Salix tianschanica*).

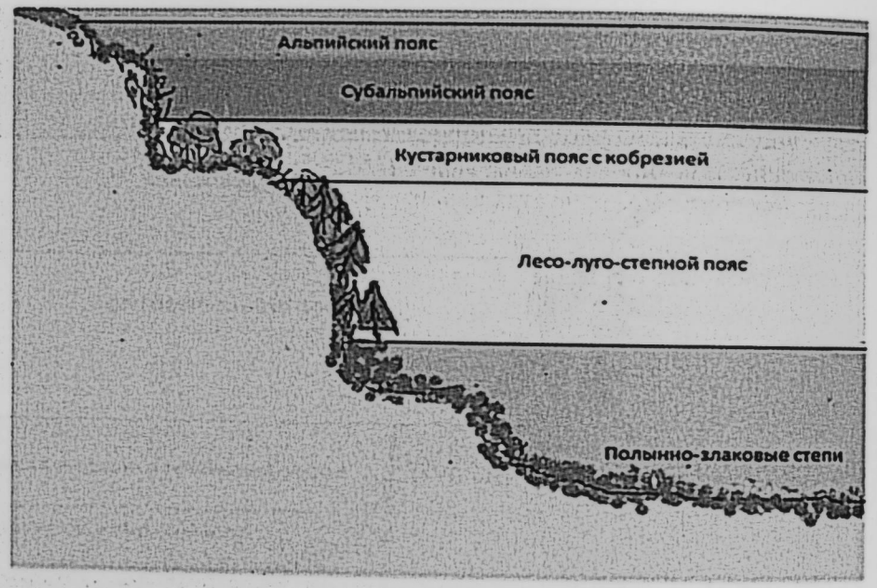


Рис. 3.8. Схема расположения высотных поясов на горном склоне южных, юго-восточных и юго-западных экспозиций бассейна реки Куйлю

Территориально преимуществом обладают карагановые ельники. В травостое обеих типов ельника преобладает Кобрезия волосовидная. Кустарниково-кобрезиевая полоса приурочена к верхней границе лесного пояса. Она обычна в тех местах, где лес сменяется кобрезиевым лугом. Как было отмечено ранее в соответствии с рисунком 3.7, такая же полоса наблюдается и на нижней границе лесного пояса, только она уступает по ширине, и доминирующая роль здесь принадлежит не кустарникам, а травяному покрову.

Чтобы исследовать современную динамику изменения границ почвенно-растительных поясов, необходимо вернуться к ретроспективному анализу распространения фитоценозов.

В результате экспедиционных и камеральных работ Кожевниковой Н.Д. [59] были выработаны сукцессионные схемы возникновения елового леса в бассейне р. Сары-Джаз, предложенные ею 50 лет назад. По данной версии на месте ельников были только кобрезиевые луга, осыпи и сильно щебнистые поверхности. Наблюдалась картина, которую мы наблюдаем в верхней части альпийского пояса. Позднее, в связи с потеплением климата, появилась возможность пристроиться здесь кустарникам на участках (осыпях, склонах покрытых щебнисто-обломочным элювиально-делювиальным покрытием), лишенных сплошного кобрезиевого ковра. Последующее потепление создало условия для существования леса, который начал селиться прежде всего по кустарниковым зарослям. Постепенно ельники заняли территорию, которую наблюдали полвека назад. А кустарниково-кобрезиевая полоса снизу лесо-луго-степного пояса осталась незаселенной елью.

Большое сходство в видовом составе травостоя в верхней и средней частях елового пояса, а также выше расположенных кобрезиевых лугов говорит о достоверности выводов, сформулированных Кожевниковой Н.Д. Она отмечала ксерофитизацию, т.е остепненность травостоя ельников и исчезновение кустарниково-кобрезиевого обрамления в конце лесного пояса у нижних его пределов, а также тенденцию к исчезновению елового древостоя с южных, открытых склонов, к приближению его по характеру к горной лесостепи Монгольской Народной Республики [60].

Чтобы выяснить, какие изменения претерпели флористический состав и современные границы распространения фитоценозов горных экосистем бассейна р. Сары-Джаз за последние 50 лет, необходимо провести повторные маршрутные наблюдения и геоботанические описания. А пока мы можем сделать только предположения, основываясь на имеющихся результатах анализа метеоданных.

В результате анализа построенных временных трендов среднегодовых значений температуры приземного слоя воздуха и годовых сумм осадков на основе данных метеорологических станций Куйлю и Тянь-Шань (последняя метеостанция выбрана из-за наиболее продолжительного ряда инструментальных наблюдений) установлено, что климатические изменения прошедшего столетия в бассейне р. Сары-Джаз пошли в сторону еще большего иссушения. Поэтому, в настоящее время процесс ксерофитизации ельников возможно все еще продолжается. И еловые массивы продолжают исчезать с открытых склонов и занимать исключительно теневые борта эрозионных врезов.

4. Геоэкологическая оценка горных экосистем

4.1. Экологическая шкала индикаторных растений бассейна р. Чон-Кызыл-Суу по степени увлажнения территории

Вода- это важнейший экологический фактор для всех живых организмов, обитающих на земле. Особая роль воды заключается в осуществлении процесса фотосинтеза у наземных растений, что очень важно для устойчивости круговорота веществ в экосистемах. Растения имеют определенные пределы распространения (толерантности) по каждому фактору среды, и потому сам факт их совместного произрастания позволяет достаточно полно оценивать экологические факторы. Основным методом оценки среды по растительности является - бионидикационный метод, т.е. - использование экологических шкал, иначе говоря, специальных таблиц, в которой для каждого вида указаны пределы их распространения по факторам увлажнения, богатства почвы, засоления, выпаса и т.д.

Основа создания и применения экологических шкал были заложены Л.Г. Раменским для территории европейской части России в 1956 г. По мере накопления базы данных стали создаваться региональные шкалы [61]. Вопрос о применении экологической шкалы в геоботанических исследованиях вызвало неоднозначное мнение среди российских и западно-европейских ученых. [18]. Но, как показал опыт исследований, несмотря на отдельные недостатки, экологическая шкала оказалась наиболее приемлемой для анализа условий произрастания растений определенной территории или при сравнении экологии растений крупных регионов, выделения экологических групп видов [62].

А. Ю. Королюк, сопоставляя методики составления экологической шкалы российских и европейских геоботаников, базируется на следующем утверждении: флористический состав сообщества отражает среднемноголетние экологические показатели местообитания, проективное же покрытие отдельных видов значительно изменяется от года к году и внутри вегетационного периода. Особенно ярко сменодоминантность и варьирование обилий видов растений проявляется в условиях пульсирующего увлажнения юга Западно-Сибирской равнины. Поэтому именно флористический состав следует считать наиболее стабильным признаком фитоценоза. Анализ набора видов в ценозах является эффективным методом для ординации растительности и изучения ее экологии [63].

Известно, что распределение растений подчинено определенной закономерности, влиянию факторов окружающей среды. Каждое растение свойственно определенному местообитанию, которое характеризуется своеобразными условиями почвы, влаги, температуры. В конкретном случае нас заинтересовал фактор увлажненности местообитания. Данная категория в горных экосистемах имеет свойство изменяться с изменением абсолютной высоты местности над уровнем моря, экспозиции и крутизны склона, от вида увлажнения (атмосферное, грунтовое и т.д.).

Поскольку растительный покров является самым чувствительным и наиболее постоянным биоиндикатором окружающей среды, то для установления степени влияния увлажненности почвы на биоресурсы использовались методы геоботанической индикации [64]. В частности нами применен метод прямого однофакторного градиентного анализа растительности [65].

Одновременно с геоботаническим описанием площадок измерялся интересующий нас фактор среды. По этому фактору ранжировались все сделанные описания, которые далее группировались по классам выбранного градиента. После группировки по классам и вычисления среднего обилия строился график. Весь описательный материал распределен по возрастанию и убыванию степени увлажненности почвы.

Геоботаническая индикация увлажненности почвы применялась ко всем высотным поясам изучаемого района. В ходе экспедиционных работ выполнялись почвенные разрезы с предварительным определением структуры почв и ее увлажненности, а также геоботанические описания пробных площадок [32]. Нами составлена сводная таблица данных (таблица 4.1.) и отображено в виде графика изменение видового состава фитоценоза вдоль экологического фактора, в частности, вдоль увлажненности почвы (рисунок.4.1.).

Таблица 4.1 Сводная таблица взаимосвязи увлажненности почвы и разнообразия видов

№ площадки	Общее количество видов	Высота над уровнем моря, м	Увлажнение	
			Значение	Характеристика
1	6	1614	80	прибрежно-водное
2	9	1615	21	пустынно-степное
3	17	1615	33	сухостепное
4	11	1640	31	сухостепное
5	14	1655	38	сухостепное
6	27	1900	42	среднестепное
7	25	2150	40	среднестепное

8	13	2450	54	сухолуговое и свежелуговое
9	26	2809	70	влажнолуговое
10	23	3210	55	сухолуговое и свежелуговое
11	16	3234	67	влажно-луговое
12	23	3229	73	влажно-луговое
13	13	3305	82	сыро-луговое

С возрастанием ступени увлажненности почвы разнообразие видов растений увеличивается, если все другие остаются константными. Например, почвы на площадке под №13, имея высокую ступень увлажненности (грунтовую и атмосферную), не обладают таким же высоким богатством. Суровые климатические условия (низкие температуры воздуха) замедляют почвообразовательный процесс, что естественно сказывается на физических и химических свойствах почвы, следовательно, отражается на видовом разнообразии растительности и их обилии отрицательно. Низкое видовое разнообразие растений на площадке № 1, также говорит о бедности почв, несмотря на высокую обеспеченность почвы грунтовыми водами.

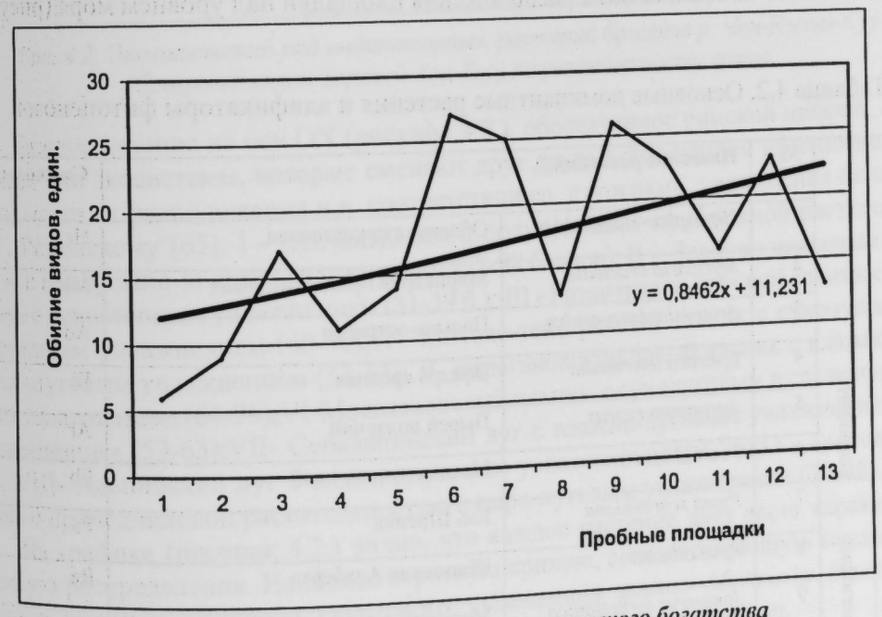


Рис. 4.1. График зависимости флористического богатства от степени увлажненности почвы.

Из графика (рисунок 4.1.) [32]. видно, что площадкам под № 2, 3 и 4 со ступенью увлажнения менее 35 соответствует минимум видового богатства растений, также как и площадкам под № 1, 8, 11 и 13 с максимальной ступенью увлажнения до 82 баллов. Судя по флористическому составу геоботанических описаний площадок под № 6,9.10 можно сделать вывод, что в данных местообитаниях наблюдаются экологические оптимумумы для многих растений, где значения увлажненности почвы колеблятся от 42 -73. На площадке № 8 мы наблюдем резкий спад видового обилия растений, несмотря на то, что увлажненность почвы в данном случае высокая (54). Такое явление объясняется сильным воздействием биотического экологического фактора, эдификаторной ролью ели Шренка в мохово-тенетравном ельнике.

Нами были выделены 15 видов растений (Таблица 4.2.), которые являются наиболее показательными, то есть сильными индикаторами степени увлажненности почвы, а также эдификаторами среды того или иного высотного пояса. Каждый вид растения, в виду его анатомических и физиологических особенностей, имеет определенные пределы распространения по отношению к увлажненности почвы. Поэтому, сам факт совместного произрастания групп растений, качественные и количественные показатели фитоценоза позволяют оценить влияние водообеспеченности места их произрастания. Как правило, с увеличением степени увлажнения повышается богатство почвы, что отражается на видовом составе.

Существует несколько экологических групп наземных растений по отношению к местопроизрастанию с разными условиями увлажнения. Из выполненных нами геоботанических описаний составлен список доминантов, которые вошли в следующие экологические группы: ксерофиты, мезофиты, гигрофиты и психрофиты (таблица 4.2.). При составлении экологического ряда использован ряд растений из 15 видов, которые были расположены в порядке постепенного нарастания или убывания увлажненности почвы и высоты расположения площадки над уровнем моря (рисунок 4.2).

Таблица 4.2. Основные доминантные растения и эдификаторы фитоценозов.

Экологические группы по увлажнению		№	Название растений		Символы
	ксерофит	1	*Hippophae rhamnoides*	Облепиха крушиновая	Hr
		2	*Myricaria bracteata*	Мирикария прицветниковая	Mb
		3	*Artemisia dracunculus*	Полынь-эстрагон	Ad
		4	*Ephedra intermedia*	Эфедра средняя	Ei
		5	*Agropyron repens*	Пырей ползучий	Ar
		6	*Poa bulbosa*	Мятлик луковичный	Pb
	мезофит	7	*Picea schrenkiana*	Ель Шренка	Ps
		8	*Rosa albertii*	Шиповник Альберта	Ra
		9	*Juniperus turkestanica*	Можжевельник туркестанский	Jt
	гигрофит	10	*Phragmites communis*	Тростник обыкновенный	Pc
		11	*Caragana jubata*	Карагана гривистая	Cj
		12	*Poligonum nitens*	Горец блестящий	Pn
	психрофит	13	*Carex melananta*	Осока черноцветковая	Cm
		14	*Allium semenovii*	Лук Семенова	As
		15	*Salix alatavica*	Ива алатавская	Sa

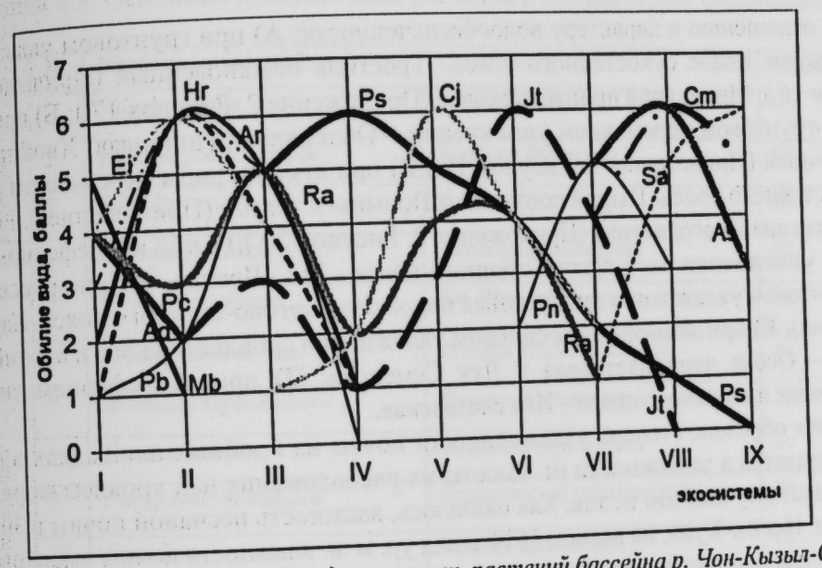


Рис. 4.2. Экологический ряд индикаторных растений бассейна р. Чон-Кызыл-Суу (Северный склон Терской Ала-Тоо) по увлажненности почвы.

Каждое деление на оси ОХ (рисунок 4.2.), обозначенное римской цифрой, отображает тип экосистемы, которые сменяют друг друга с изменением абсолютной высоты места их расположения и в соответствии со ступенями увлажнения почвы по Л.Г. Раменскому [65]: I - Песчаный вал с полупустынно-прибрежной растительностью с прибрежно-водным увлажнением (77-88 баллов); II - Злаково-полынная сухая степь с сухостепным увлажнением (31-39 б.); III - Разнотравно-луговой ельник с среднестепным увлажнением (40-46);IV- Мохово-тенетравный ельник с сухолуговым и свежелуговым увлажнением (53-63); V- Караганово-талловый ельник с влажнолуговым увлажнением (64-76);VI-Можжевеловый ельник с сухолуговым и свежелуговым увлажнением (53-63);VII- Субальпийский луг с влажно-луговым увлажнением (64-76);VIII- Альпийский луг с влажно-луговым увлажнением (64-76);IX- Троговая долина с приледниковой растительностью с сыро-луговым увлажнением (77-88).

Из графика (рисунок 4.2.) видно, что каждое растение дает свою характерную кривую распределения. Наиболее короткую кривую, соответствующую местообитанию с высокой степенью грунтового увлажнения имеют *Myricaria bracteata* и *Phragmites communis*, которые являются сильнейшими индикаторами.

Такие виды кустарниковых и древесных растений, как *Hippophae rhamnoides, Picea schrenkiana, Rosa albertii, Juniperus turkestanica, Salix alatavica* и др. взяты в качестве членов целого ряда растительных группировок, приуроченных к определенным почвенным условиям. Их кривые на графике (рисунок 4.2.), как и предполагалось, оказались длинными. Среди указанных видов – эдификаторов наиболее толерантным к увлажнению стала *Rosa albertii*. Она произрастает в семи различных местообитаниях, отличающихся характером увлажнения. Индикаторами местообитаний нивального пояса с грунтово-атмосферным увлажнением являются *Carex melananta, Allium semenovii* и *Salix alatavica*.

Используя результаты материалов экспедиции, методику составления экологических рядов растительности и поясную схему Л.Н. Соболева выделили следующие биоиндикаторы местообитаний различных высотных поясов бассейна р. Чон-Кызыл-

Суу по отношению к характеру водообеспеченности: **А)** при грунтовом увлажнении прибрежных полос сухостепного пояса– Тростник обыкновенный (Приложение 2. Рисунок 16.), Мирикария прицветниковая (Приложение 2. Рисунок 17.); **Б)** при атмосферно-грунтовом переменном увлажнении – Облепиха крушиновая, Хвойник прежуточный (Приложение 2. Рисунок 18.);**В)** при атмосферном переменном увлажнении степного пояса- Пырей ползучий и Полынь-эстрагон (Приложение 2. Рисунок 19.), Карагана многолистная (Приложение 2. Рисунок 20.);**Г)** при атмосферном переменном увлажнении лесо-лугово-степного пояса - Ель Шренка и Ирис русский; **Д)** при грунтовом увлажнении прибрежных полос лесо-лугово-степного пояса- Карагана гривистая); **Е)** при атмосферном сильном увлажнении субальпийского и альпийского поясов – Осока черноцветковая и Лук Семенова; **И)** при атмосферном сильном увлажнении нивального пояса - Ива алатавская.

Таким образом, степень увлажненности почвы на пробных площадках в основном изменяется в зависимости от высоты их расположения над уровнем моря. Хотя в отдельных случаях это не так. Как оказалось, влажность песчаной почвы в 300 м от берега оз. Иссык-Куль, на высоте 1614 м над ур. м и влажность почвы высокогорной бурой почвы в приледниковой зоне одного из притоков р. Чон-Кызыл-Суу на высоте 3226 м над. ур. м. имеют примерно одинаковую высокую влажность. В первом случае это достигается благодаря грунтовым водам, во втором случае за счет атмосферных осадков и ледниковых талых вод.

4.2. Экологическая шкала индикаторных растений бассейна р. Сары-Джаз по степени увлажнения территории

Известно, что распределение растений подчинено определенной закономерности, влиянию факторов окружающей среды. Каждое растение свойственно определенному местообитанию, которое характеризуется своеобразными условиями почвы, влаги, температуры. В конкретном случае нас заинтересовал фактор увлажненности местообитания. Данная категория в горных экосистемах имеет свойство изменяться с изменением абсолютной высоты местности над уровнем моря, экспозиции и крутизны склона, от вида увлажнения (атмосферное, грунтовое и т.д.).

Из всего флористического списка растений бассейна реки Сары-Джаз нами были выделены 15 видов растений (таблица 4.3.), которые являются наиболее показательными, яркими индикаторами степени увлажненности почвы, а также эдификаторами среды того или иного высотного пояса. Каждый вид растения, в виду его анатомических и физиологических особенностей, имеет определенные пределы распространения по отношению к увлажненности почвы. Поэтому, сам факт совместного произрастания групп растений, качественные и количественные показатели фитоценоза позволяют оценить влияние водообеспеченности места их произрастания. Как правило, с увеличением степени увлажнения повышается богатство почвы, что отражается на видовом составе.

Существует несколько экологических групп наземных растений по отношению к местопроизрастанию с разными условиями увлажнения. Нами составлен список доминантов, которые вошли в следующие экологические группы: ксерофиты, мезофиты, гигрофиты и психрофиты (таблица 4.3.).

Таблица 4.3. Основные доминантные растения и эдификаторы фитоценозов

Экологические группы по увлажнению		№	Название растений		Символы
	ксерофит	1	*Salsola collina*	Солянка холмовая	Sc
		2	*Ephedra fedtschenkoae*	Хвойник Федченко	Ef
		3	*Stipa krylovii*	Ковыль Крылова	Sk
	мезоксерофит	4	*Reaumuria kaschgarica*	Реомюрия кашгарская	Rk
		5	*Picea schrenkiana*	Ель Шренка	Ps
		6	*Artemisia rhodantha*	Полынь розовоцветковая	Ar
		7	*Artemisia saposhnikovii*	Полынь Сапожникова	As
		8	*Festuca valesiaca*	Овсяница валезийская	Fv
		9	*Ptilagrostis mongolica*	Птилагростис монгольский	Pm
		10	*Poa alpina*	Мятлик альпийский	Pa
	мезофиты	11	*Hordeum brevisubulatum*	Ячмень короткошиловидный	Hb
		12	*Salix tianschanica*	Ива тяньшанская	St
		13	*Caragana jubata*	Карагана гривистая	Cj
		14	*Hedysarum kirghizorum*	Копеечник киргизский	Hk
		15	*Kobresia capilliformis*	Кобрезия волосовидная	Kc

При составлении экологического ряда использован ряд растений из 15 видов, которые были расположены в порядке постепенного нарастания или убывания увлажненности почвы и высоты расположения площадки над уровнем моря в соответствии с рисунком 4.4.

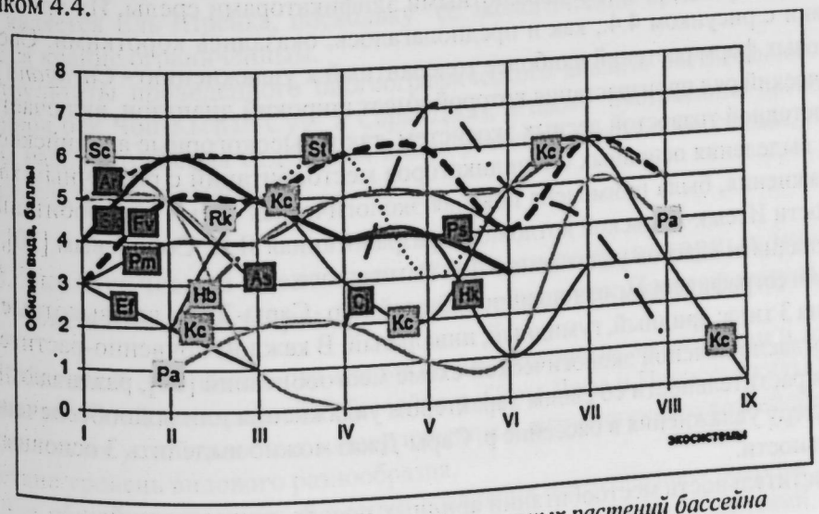


Рис. 4.4. Экологическая шкала индикаторных растений бассейна р. Сары-Джаз по увлажненности почвы.

Каждое деление на оси ОХ в соответствии с рисунком 4.4., обозначенное римской цифрой, отображает тип экосистемы, которые сменяют друг друга с изменением абсолютной высоты места их расположения и в соответствии со ступенями увлажнения почвы по Л.Г. Раменскому [65]:

I – высокогорная криофитная пустыня с пустынно-степным типом увлажнения;
II - криофитная дерновинно-злаковая степь с сухостепным увлажнением;
III –закустаренная злаковая степь со среднестепным увлажнением;
IV- карагановый ельник со среднестепным с увлажнением;
V- ивовый ельник с влажностепным увлажнением;
VI- пойменный лес с прибрежно-водным увлажнением;
VII- субальпийский луг с влажно-луговым увлажнением;
VIII- альпийский луг с влажно-луговым увлажнением;
IX- троговая долина с приледниковой растительностью с сыролуговым увлажнением).

Из графика (рисунок 4.4.) видно, что каждое растение дает свою характерную кривую распределения. Наиболее короткую кривую, соответствующую местообитанию с сухостепным увлажнением, имеет *Artemisia sapos*hnikovii - узкий эндемик бассейна р. Сары-Джаз и яркий индикатор изменения среды произрастания. Наиболее длинной кривой распределения обладает многолетник, мезоксерофит - *Festuca valesiaca*. Произрастает в семи различных местообитаниях, отличающихся характером увлажнения, тем самым является самым толерантным растением по отношению к влаге и пастбищной нагрузке. Самый значительный диапазон из всех встреченных видов имеет *Kobresia capilliformis*. Со-доминантами растительных фитоценозов высокогорных экосистем являются и другие виды злаковых такие, как *Ptilagrostis mongolica, Poa alpina, Hordeum brevisubulatum*. Это яркие представители мезоксерофитов, границы произрастания которых начинаются от высокогорных криофитных пустынь с пустынно-степным типом увлажнения и заканчиваются альпийскими лугами с влажно-луговым увлажнением. Судя по экологическому ряду индикаторных растений, такие виды кустарниковых и древесных растений, как *Picea schrenkiana, Salix tianschanica* не являются абсолютными эдификаторами среды. Их кривые в соответствии с рисунком 4.4., как и предполагалось, оказались короткими. Среди кустарниковых форм растений наиболее толерантный к увлажнению - *Caragana jubata*, экологический ряд произрастания которой имеет широкий диапазон, включает в себя как сухостепной травостой лесных экосистем, так и высокогорные альпийские луга.

Для выделения основных биоиндикаторов местообитаний с различным характером увлажнения, была применена поясная экологическая схема местообитаний растительности Иссык-Кульской котловины, разработанная Л.Н. Соболевым [20], на основе двенадцати классов увлажнения Л.Г. Раменского.

В биогеографическом отношении в бассейне р. Сары-Джаз все высотные пояса делятся на 3 типа: аридный, гумидный, нивальный. В каждом почвенно-растительном поясе, согласно поясной экологической схеме местообитаний [20], различают местообитания растительности со своим характером увлажнения или водообеспеченности. По характеру увлажнения в бассейне р. Сары-Джаз можно выделить 3 основных типа растительности.

I. Растительность местообитаний аридных поясов, включающий:

1) Местообитания атмосферного увлажнения высокогорной криофитной пустыни; 2) местообитания атмосферного увлажнения криофитной дерновинно-злаковой степи

II. Растительность местообитаний гумидных поясов, состоящий из:

1) Местообитания атмосферного увлажнения лесо-лугово-степного пояса (горные сухие степи, горные луга, горные леса); 2) Местообитания атмосферного увлажнения субальпийского пояса; 3) Местообитания атмосферного увлажнения альпийского пояса;

4) Местообитания грунтового увлажнения гумидных поясов.

III. Растительность местообитаний нивальных поясов.

Используя фондовые материалы, методику составления экологических рядов растительности и поясную схему Л.Н. Соболева [20], выделили следующие биоиндикаторы местообитаний различных высотных поясов бассейна р. Сары-Джаз по отношению к характеру водообеспеченности местообитания:

А) при атмосферном увлажнении криофитного пустынного пояса - Солянка холмовая, Хвойник Федченко;

Б) при атмосферном увлажнении криофитного степного пояса - Полынь Сапожникова;

В) при атмосферном увлажнении лесо-лугово-степного пояса - Ель Шренка, Ива тяньшанская;

Г) при атмосферном сильном увлажнении субальпийского и альпийского поясов -Копеечник киргизский;

Д) при атмосферном сильном увлажнении нивального пояса – Кобрезия волосовидная.

Таким образом, на изучаемой территории в силу засушливого и экстремально холодного вегетационного периода доминантами – эдификаторами среды стали многолетние мезоксерофиты. Высокое обилие и границы широкого распространения данных травянистых растений свидетельствуют об их толлерантности к окружающей среде. Особо чутким биоиндикатором климатических условий для бассейна р. Сары-Джаз является Ель Шренка, поскольку ее экологический предел распространения оказался крайне ограниченным.

Результаты проведенного биогеографического анализа растительного покрова бассейнов рек Чон-Кызыл-Суу и Сары-Джаз, а также построенные экологические шкалы распространения отдельных видов растений для этих бассейнов, позволили сделать следующие выводы:

4.3. Экологическая оценка растительного покрова горных экосистем бассейна реки Сары-Джаз и бассейнов рек Прииссыккулья

Небольшой сравнительный анализ по высокогорным экосистемам и жизненным формам растений двух районов (бассейна р. Сары-Джаз и Прииссыккулья) позволит определить их устойчивость к климатическим и антропогенным воздействиям и, как следствие уровень видового разнообразия.

Для общей экологической оценки состояния растительного покрова двух районов были составлены предварительные флористические списки растений. На основе предварительного списка растений были проведены: классификация растительного

покрова по основным экосистемам, анализ жизненных форм и экологических групп растений изучаемых территорий. В исследуемом районе (бассейн р. Сары-Джаз) предварительно выявлено 404 вида растений. Флористическое разнообразие Прииссыккулья (Иссык-Кульской котловины) предварительно составляет 1279 видов растений. Как таковые списки растений не приводятся по причине обоснованности других целей и задач исследований в данной работе.

На основе полученных материалов, сравнительный анализ видового разнообразия растений высокогорных экосистем двух районов (бассейна р. Сары-Джаз и Прииссыккулья) показал весьма интересную картину распределения видового разнообразия двух экосистем (лесной и приледниковой).

Судя по гистограмме (рисунок 4.5.), уровни столбиков видового разнообразия лесных и приледниковых экосистем разнятся, чего не скажешь о столбиках (одинакового уровня) видового разнообразия скальных экосистем двух районов.

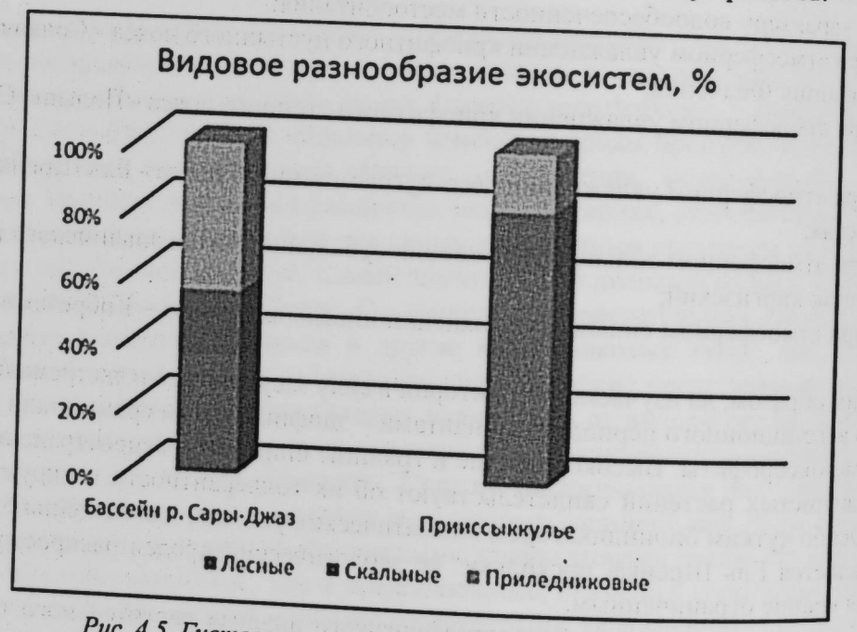


Рис. 4.5. Гистограмма видового разнообразия высокогорных экосистем бассейна р. Сары-Джаз и Прииссыккулья

Видовое разнообразие скальных экосистем в Прииссыккулье и бассейне р. Сары-Джаз имеет одинаково низкую степень, приблизительно 20 % от всего числа видов. А число видов растений в лесных и приледниковых экосистемах разнится. Наибольшим разнообразием видов обладают лесные экосистемы Прииссыккулья (около 60% от всего числа видов растений) и относительно скудным видовым разнообразием обладают приледниковые (всего лишь 20%). В бассейне р. Сары-Джаз 50% видового разнообразия обладают приледниковые экосистемы, и 30 % - лесные.

Сравнительный анализ распределения растений по основным жизненным формам в Прииссыккулье и в бассейне р. Сары-Джаз показал (рисунок 4.6.), что в обоих исследуемых районах наибольшей долей видового разнообразия обладают многолетники – эдификаторы среды.

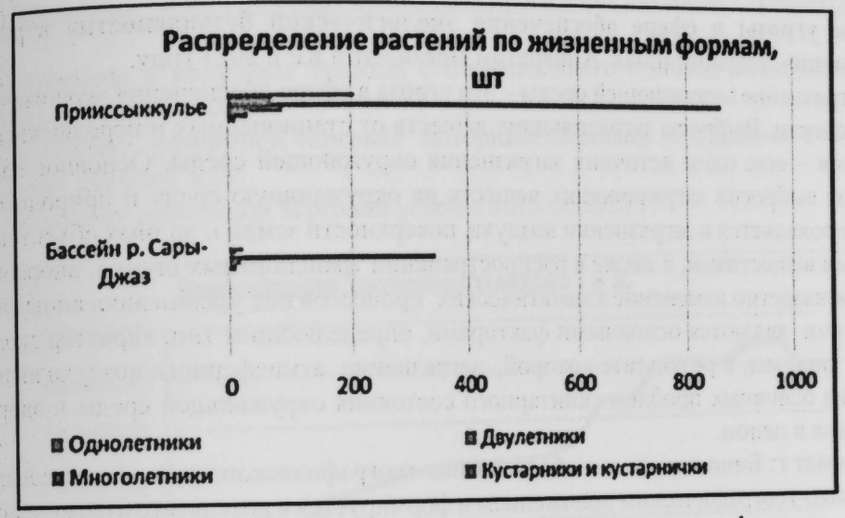


Рис. 4.6. Гистограмма распределения растений по жизненным формам в Прииссыккулье и в бассейне р. Сары-Джаз

При различного рода воздействиях кратковременного характера многолетние травянистые растения являются гарантами устойчивости растительного покрова горных экосистем как Прииссыккулья (865 видов), так и бассейна р. Сары-Джаз (342 вида). Однолетние травянистые растения являются особо чувствительными и уязвимыми индикаторами растительного покрова горных экосистем, количество которых в Прииссыккулье больше (207 видов), чем в бассейне р. Сары-Джаз (22 вида).

Таким образом, мы можем предположить, что наибольшей устойчивостью к различного рода воздействиям будут обладать приледниковые экосистемы бассейна р. Сары-Джаз, наименьшей устойчивостью приледниковые экосистемы Прииссыккулья.

В обоих исследуемых районах львиной долей видового разнообразия обладают многолетние травянистые растения – эдификаторы среды, **занимающие доминирующее положение и обеспечивающие, тем самым, устойчивость растительного покрова горных экосистем.** Однолетники являются особо чувствительными и уязвимыми индикаторами растительного покрова горных экосистем, количество которых в Прииссыккулье больше, чем в бассейне р. Сары-Джаз. Поэтому растительный покров горных экосистем Прииссыккулья является наиболее чувствительным к климатическим и антропогенным воздействиям.

5. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Бишкек от стационарных и передвижных источников

Лаборатория горных экосистем Института водных проблем и гидроэнергетики НАН КР продолжает исследования по бюджетному проекту в области охраны окружающей среды по теме **«Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Бишкек от стационарных и передвижных источников»**, 2021 - 2023гг.

Исследовательская работа Лаборатории горных экосистем ИВПиГЭ НАН КР сфокусирована на достижение результатов в рамках аналитической темы: «**Потенци-**

альные угрозы в сфере обеспечения экологической безопасности» в разделе «Экология», разработанная Аппаратом Президента КР в 2021 году.

Загрязнение окружающей среды – это угроза в сфере обеспечения экологической безопасности. Выбросы загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников – еще один источник загрязнения окружающей среды. Основное воздействие от выбросов загрязняющих веществ на окружающую среду и природные ресурсы проявляется в загрязнении воздуха, поверхности земли и водных объектов токсичными веществами, а также в распространении транспортных шумов, вибрации.

Как известно изменение климатических процессов над урбанизированными территориями являются основными факторами, определяющим тип, характер экологической системы, в результате которой, загрязнение атмосферного воздуха является одной из основных проблем санитарного состояния окружающей среды и здоровья населения в целом.

Климат г. Бишкек, как и любого физико-географического района, определяется его физико-географическим положением и формируется в результате взаимодействия солнечной радиации, атмосферной циркуляции и подстилающей поверхности. Город Бишкек расположен у подножия хребта Киргизского Ала-Тоо, на равнине, образованной от слияния конусов выноса рек Ала-Арча и Аламедин, на высоте 750 м. н.у.м.

Анализируя основные атмосферные процессы и метеоусловия можно отметить, что в целом район г. Бишкек по климатическим условиям занимает крайнее южное положение, в континентальной области климата умеренных широт согласно классификации Б.П. Алисова. Это определяет целым рядом факторов: континентальность, засушливость, открытость к проникновению холодных воздушных масс и т.д. [66, 67].

Основные причины формирования «городского» климата Бишкека, связаны с выбросами в атмосферу от передвижных и стационарных источников большого количество вредных веществ (пыли, сажи, сернистого газа, углекислого газа, окиси углерода и т.д.), значительные выбросы таких загрязняющих веществ в атмосферный воздух города способствуют возникновению экологической проблемы не только для города, но и для всей нижней зоны бассейна р. Аламедин.

Существуют два вида основных источников загрязнения атмосферного воздуха города:

1. Передвижные источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.
2. Стационарные источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Так как до настоящего времени в Кыргызстане не ведется официальный учет выбросов от автотранспорта и частного сектора использующий для обогрева жилья твердое топливо (уголь). Исходя из этого, целью данной работы является оценка объемов выбросов от автотранспорта и частного сектора, загрязняющих атмосферный воздух г. Бишкек.

5.1. Методы и результаты исследований

В ходе достижения основной цели - Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Бишкек от стационарных и передвижных источников основ были выполнены следующие заадчи.

1) Проведена работа по сбору данных для проведения научно-исследовательских работ.

Направлены и получены запросы с Национального статистического комитета Кыргызской Республики:

- По объему розничной торговле моторным топливом по г.Бишкек с 2000 по 2020 годы (рисунок 5.1);
- По объему розничной торговли углем с 2015 по 2020 г.



Рисунок 5.1. График реализации моторного масла за период с 2000 по 2020 гг.

Из графика видно, что реализация моторного топлива ГСМ (бензин, дизель) по сравнению с 2000 годом в 2019 году (за 20 летний период) возросло почти в 10 раз. Резкое понижение показателя потребления ГСМ в 2020 году объясняется введёнными карантинными мерами в связи с COVID-19.

Планировалось проведение анализа потребления ГСМ за холодный и теплый периоды времени года (за 20 лет). Но, к сожалению, Нацстатком КР статистику по реализации ГСМ по месяцам не ведёт.

2) Анализ и апробирование методики расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории.

Методика расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории разработан акционерным обществом «Научно-исследовательский институт охраны атмосферного воздуха» (АО «НИИ Атмосфера») РФ и введен в действие с 01.01.2020 г. (ГОСТ Р 56162-2019 Национального стандарта РФ выбросы загрязняющих веществ в атмосферу).

Настоящая методика распространяется на автотранспортные средства и устанавливает метод расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории. Выбросы в атмосферу вредных (загрязняющих) веществ автотранспортными средствами в реальных условиях эксплуатации, являясь объектами регулирования технических регламентов в отношении негативного воздействия на состояние здоровья людей, квалифицируются как опасные и входят в перечень химических ве-

ществ согласно "Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к продукции (товарам), подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)"

Таможенного союза ЕАЭС. Методика устанавливает порядок расчета значений максимальных разовых за 20-минутный период времени и валовых за год выбросов в атмосферу вредных (загрязняющих) веществ от потоков автотранспортных средств, движущихся по автомобильным дорогам вне зон производственного и промышленного назначения для последующего их использования при инвентаризации, разработке нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ; при формировании компьютерных банков данных для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы и проектной градостроительной документации по формированию улично-дорожной сети, строительству новых и реконструкции существующих автомобильных дорог.

3) Проведен анализ динамики увеличения автотранспортных средств, зарегистрированных в г. Бишкек.

Уровень загрязнения атмосферного воздуха отработанными газами зависит автотранспорта от их количества и использованного объема топлива, а также от режима его работы, от скорости движения транспорта, от интенсивности движения автомобилей, ширины и рельефа улицы, скорости ветра, доли грузового транспорта и автобусов в общем потоке и других факторов. Качество топлива тоже обусловливает состав отработанных газов автотранспорта. Состав и свойства токсичных веществ, поступающих в атмосферу города с выхлопными газами, существенно зависят не только от вида топлива, но и от типа, модели, технических параметров автомашин, в том числе от степени их изношенности (рисунок 5.2). Значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха г. Бишкек передвижными источниками вносит эксплуатация автотранспорта с большим пробегом и режим движения автомобилей, а качество автомобильного топлива играет второстепенную роль. Согласно данным ГРС КР, почти 60% машин в г. Бишкек старше 15 лет и 34% от 10 до 15 лет, что означает 92% машин старше 10 лет и имеют высокий уровень выбросов в силу их износа.

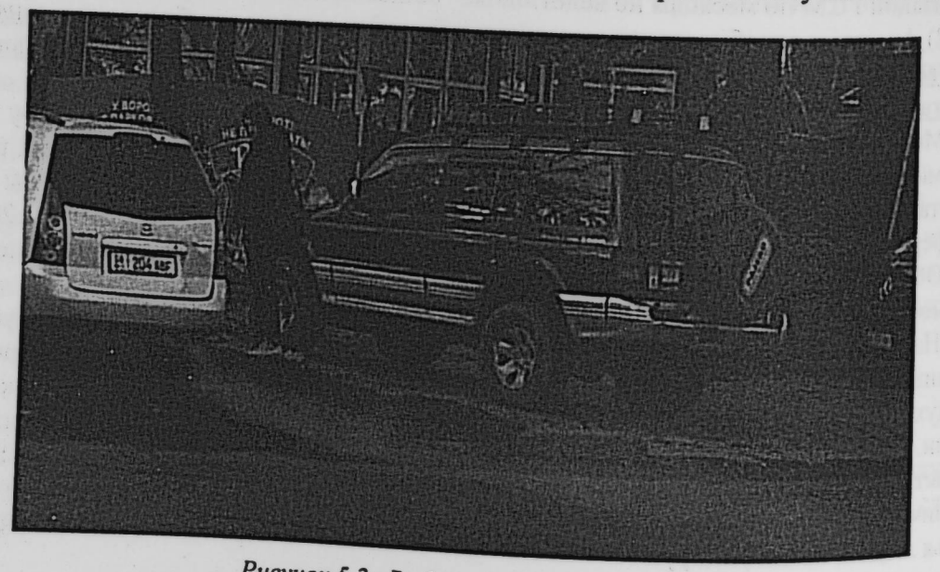


Рисунок 5.2. Выбросы от автомашины

Так если по данным Национального статистического комитета Кыргызской Республики на конец 2005 года в г.Бишкеке было зарегистрировано 61,1 тыс. индивидуального легкового автотранспорта, то согласно представленным данным Государственного учреждения «Унаа» при Государственной регистрационной службе при Правительстве Кыргызской Республики по состоянию 30 апреля 2020 года в г.Бишкек зарегистрировано более 338,7 тыс. легкового автотранспорта (таблица 5.1).

Таблица 5.1. Тенденция увеличения числа зарегистрированных легковых автомобилей в г.Бишкек, тыс.шт. (Источник: www.stat.kg)

Годы	2005	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
Число автомобилей	61,1	68,1	94,8	111,5	144,6	310,0	340,6	331,5	338,7

Как видно из таблицы 1 за 15 лет количество зарегистрированных легковых автомобилей в г.Бишкек увеличилась более чем в 5 раз.

По экспертным данным в среднем, автомобиль потребляет в год 2 т бензина и выбрасывает в воздух 20-25 тыс. м ^{3} продуктов сгорания, в которых содержится 700 кг CO, 40 кг NO, 230 кг углеводородов и 2-5 кг твердых частиц [67].

Согласно данным Национального статистического комитета Кыргызской Республик (НСК) на конец 2005 года в г. Бишкеке было зарегистрировано 61,5 тыс. индивидуального легкового автотранспорта, а на конец 2018 года уже 331,5 тыс. индивидуального легкового автотранспорта [68]. Согласно представленным данным Государственного учреждения «Унаа» при Государственной регистрационной службе при Правительстве Кыргызской Республики, по состоянию 30 апреля 2020 года в г.Бишкек было зарегистрировано более 400 тыс. автотранспорта (таблица 5.2).

Таблица 5.2. Количество автотранспортных средств по г. Бишкек по состоянию 30 апреля 2020 года [69]

Наименование автотранспорта	Срок эксплуатации до 5 лет	Срок эксплуатации с 5 до 10 лет	Срок эксплуатации с 10 до 15 лет	Срок эксплуатации более 15 лет	Всего
Автобус	215	234	1355	11187	12991
Грузовой	784	3053	3585	35232	42654
Грузопассажирский	61	131	239	1104	1535
Легковой	4020	13102	29114	292452	338 688
Мото	48	137	268	1967	2420
Полуприцеп	95	309	862	4766	6032
Прицеп	57	135	294	2180	2666
Специальный	179	319	276	1668	2542
СТМ	940	286	221	345	1792
Итого	6499	17706	36214	350901	411320
Итого в, %	**1,58**	**4,30**	**8,80**	**85,31**	**100**

Как видно из таблицы 5.2, значительную часть зарегистрированного в Бишкеке автотранспорта, составляют легковые (82,34 %) и более 85% со сроком эксплуатации более 15 лет и естественно они вносят большой вклад в загрязнение атмосферного воздуха г. Бишкек. Расход топлива на 100 км самых экономичных легковых автомобилей обычно колеблется около 5 литров на 100 км. Расход самых "прожорливых" легковых автомобилей может достигать до 25 литров/километр. Следует отметить, что расход ГСМ увеличивается из-за роста количества автотранспорта: в городах с населением от 0,5 до 2,5 миллионов человек - до 15%; для автомобилей, находящихся в эксплуатации более 8 лет, - до 5% [74]. Сколько литров бензина и дизельного топлива реализуется в АЗС г Бишкек за год, сказать сложно, так как, такая статистика не ведется.

4) Произведён расчёт выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от передвижных источников и частного сектора в г. Бишкеке.

Пробег автотранспортного средства существенно влияет на объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, так общее количество выбросов существенно возрастает (примерно 3 раза) при пробеге 80 000 км [71]. Согласно оценке аналитического агентства "Автостат" среднегодовой пробег автомобилей (в возрасте до 5 лет) в России в 2019 году составляет 17 500 км. [72]. Исследования по пробегам автомобилей в Кыргызстане не проводились и сложно оценить среднегодовой пробег автомобилей в Кыргызстане и также в г. Бишкек.

Для проведения исследования по оценке выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от передвижных источников и частного сектора в г. Бишкеке были приняты расчетные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании 1 тонны топлива (бензина и дизельного топлива) приведены в таблице 5.3., а также данные по розничной торговле ГСМ по г.Бишкек за 2015-2019 приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.3. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу при эксплуатации автомобиля [73]

Наименование	Бензин	Дизельное топливо
	Выбросы ЗВ т/т	Выбросы ЗВ т/т
Сажа (твердые частицы)	0,0011	0,0092
Окись углерода	0,42	0,047
Углеводороды	0,046	0,019
Диоксид серы	0,0015	0,002
Оксиды азота	0,027	0,033

Таблица 5.4 Розничная торговля ГСМ, в млн.сом по г.Бишкек за 2015-2019 годы

Годы	2015	2016	2017	2018	2019
Млн.сом	15681,9	14059,7	15660,8	19086,9	18666,2

Чтобы оценить объем выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств, были заданы следующие параметры и по ним произведены расчеты выбросов. Результаты приведены в таблице 5.5.

Заданные параметры:

- объем реализованного бензина составляет 80 % от всего реализованного ГСМ;
- объем реализованного дизельного топлива 20% от всего реализованного ГСМ;
- средняя цена бензина составляет 40,22 сом за 1 литр;
- средняя цена дизельного топлива 44,85 сом 1 литр;
- плотность бензина - 0,75 кг/л.;
- плотность - 0,85 кг/л.;
- пробег автомобиля не учитывается.

Таблица 5.5 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от передвижных источников при заданных параметрах (2020 г.)

Наименование ЗВ	Объем выбросов, в тоннах	Объем выбросов, в %
Сажа (твердые частицы)	957,23	0,7
Окись углерода	120279,19	82,5
Углеводороды	14153,53	9,7
Диоксид серы	559,20	0,4
Оксиды азота	9853,30	6,6
Всего	145802,44	100

Как видно из таблицы 5.5, выбросы загрязняющих веществ от передвижных источников загрязнения в 2020 году составили в пределах 145802,44 тонн, и основная часть их составляет оксид углерода -82,5%; углеводороды – 9,7%.

Для более точной оценки объемов выбросов от автотранспорта необходимо знать количество реализованного бензина и дизельного топлива, количество автотранспорта с различными объемами двигателей.

На загрязнение атмосферного воздуха г. Бишкек свой вклад вносит частный сектор (жилые массивы, новостройки).

Стационарные источники выбросов, использующие твердое топливо

1.1. ТЭЦ г.Бишкек;
1.2. Котельные теплокомунэнерго;
1.3. Котельные предприятий и организаций (в самом городе и вокруг города);
1.4. Котельные больниц, школ, детских садиков и других учреждений (в самом городе и вокруг города);
1.5. Сауны и бани (в самом городе и вокруг города);

1.6. Частный сектор (в самом городе и вокруг города) использующий твердое топливо для обогрева, в том числе текстиль и б/у шины.

Таблица 5.6. Динамика выбросов от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха, по г. Бишкек тыс. тонн. (Источник: www.stat.kg)

Годы	1995	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2019
Всего	20,9	16,4	15,1	15,5	16,4	21,9	14,4	18,7	26,4	24,6	24,2	22,0
Твердые	9,5	6,7	6,8	8,5	8,3	12,3	7,0	9,8	11,8	10,6	9,5	7,8
Газообразные и жидкие	11,4	9,7	8,3	7,0	8,1	9,6	7,4	8,9	14,6	14,0	15,0	14,2

Как видно из таблицы 5.6 за 15 лет выбросы от загрязняющих веществ в атмосферу практически не увеличилась. Но следует отметить, что за 15 лет в г.Бишкеке построены и работают организации использующее органическое отопление (уголь, газ) для обогрева в холодное время года. Скорее всего, отсутствие динамики увеличение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу связано пробелами представления статистической отчетности об объемах выбросов от предприятий и организаций.

Для оценки выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от частного сектора использующее твердое топливо (уголь) в отопительный период для отопления индивидуального жилого дома от Национального статистического комитета получены данные по розничной торговле каменным углем в г. Бишкек за 2015-2019 гг., (таблица 5.7).

Таблица 5.7. Розничная торговля каменным углем, в млн. сом.

Годы	2015	2016	2017	2018	2019
Млн.сом.	4972,6	4998,8	5112	5176	4880

Для определения объема реализованного каменного угля были использованы средние цены каменного угля по г.Бишкек за 2020 г., для расчета выбросов была использована методика [69,74], результаты расчетов выбросов приведены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 . Выбросы загрязняющих веществ от частного сектора при сжигании твердого топлива за отопительный период (2019-2020 гг.)

Наименование загрязняющих веществ	Тонн/год	Доля выбросов в %
Твердые частицы (зола)	19162,9	32,5
Оксиды серы	15318,4	26,0
Оксид углерода	23066,9	39,1
Оксиды азота	1408,3	2,4
Всего	**58956,6**	**100,0**

Как видно из таблицы 5.8. выбросы загрязняющих веществ от частного сектора, отапливаемого в 2020 году составили в пределах 58 956,6 тонн, из них выбросы твердых частиц (зола) составляет 32,5%; оксиды серы - 26,0 %; оксиды углерода – 39,1%.

В настоящее время в частном секторе сжигание топлива для отопления в большинстве случаев осуществляется в устройствах, не обеспечивающих полного сгорания топлива из-за низких температур горения и других эксплуатационных ограничений. Это приводит к относительно высоким уровням выбросов на единицу топлива, в том числе множества продуктов неполного сгорания, таких, как PM2,5 и монооксид углерода – двух основных загрязнителей воздуха. Кроме того, сжигание твердого топлива в небольших устройствах является основным источником выбросов сажистого (черного) углерода.

5.2. Рекомендации по уменьшению загрязнения окружающей среды г. Бишкек.

В результате исследований 2020 года сотрудниками лаборатории Горных экосистем ИВПиГЭ НАН КР предложены рекомендации по уменьшению загрязнения атмосферного воздуха г.Бишкек для внесения в «План комплексных мер по улучшению экологической ситуации в городе Бишкек и Сокулукского, Аламединского районов Чуйской области» утвержденного Правительством Кыргызской Республики от 13 января 2020 года:

1. Постепенное увеличение электромобилей и электробусов;
2. Поэтапное увеличения ставок налогов и/или сборов на транспортные средства со сроком длительной эксплуатации, так как они являются основными загрязнителями атмосферного воздуха от передвижных источников;
3. Сокращение количества микроавтобусов с заменой их большими автобусами на газовом топливе, увеличение количества троллейбусов.
4. Газификация жилых массивов вокруг г.Бишкека, предоставления льготных кредитов жителям жилых массивов для проведения отопления и покупки современных котлов.
5. Увеличение степени очистки отходящих загрязняющих веществ от труб ТЭЦ г. Бишкек.
6. Проведение дополнительных исследований выбросов от автотранспорта и жилых массивов, отапливаемых твердым топливом.

Заключение

Устойчивое развитие общества предполагает сохранение устойчивости экосистем горных территорий Кыргызстана. Как правило, в верховьях рек, основное воздействие на устойчивость естественных экосистемы оказывает нерегулируемый выпас скота, многократно превосходящий продуктивность пастбищ. Геоботанические описания растительности в бассейнах рек, составление списка растений и их распределение по различным экологическим группам (жизненные формы, по отношению к влаге) является первоначальным и важным моментом при проведении экологической оценки исследуемой территории Продолжающаяся территоаридизация

рии, загрязнение окружающей среды в Центральной Азии в будущем могут привести к катастрофической ситуации - к дефициту воды, сокращению биоразнообразия. Изучение влияния климатических факторов на состояние горных экосистем, где растительный покров является главным биоиндикатором, представляет большой научный интерес не только для нашей страны, но и для сопредельных государств. Исследование состояния экосистем основных речных бассейнов, их устойчивого развития является одним из приоритетных направлений, утвержденный Постановлением Правительства Кыргызской Республики от 17 марта 2014 года № 131 «О Приоритетах сохранения биологического разнообразия Кыргызской Республики на период до 2024 года». В пункте 3 «Состояние поддерживающих экосистем» сказано, что каждый биологический вид является частью определенной естественной экосистемы и вне этой поддерживающей экосистемы не в состоянии сохраниться как вид.

Синхронный анализ климатических, геоморфологических, эдафических условий и характера растительного покрова показал, что за всю историю развития рельефа растительный покров менялся.

Степень увлажненности почвы на пробных площадках в основном изменяется в зависимости от высоты их расположения над уровнем моря. Установление флористического состав фитоценозов пробных площадок и определение степени увлажненности почвы на них, показал сильную зависимость видового обилия растений не столько, как от высоты местности, сколько от степени и характера увлажненности почвы.

Построение экологической шкалы растений, наиболее часто встречаемых в тех экосистемах, где они находятся в экологическом оптимуме, позволяет отследить в будущем изменения абиотических факторов (фактор увлажнения или водообеспеченности) по возникновению растения в экосистеме, где ранее его нельзя было встретить.

Наличия елового подроста имматурного возраста у подножья языка ледника Кара-Баткак красноречиво свидетельствует, что ель Шренка является холодоустойчивой породой и может произрастать в условиях наиболее суровых, чем предполагалось. Видимо изменение климата, отступание ледника Карабаткак и благоприятные ценобиотические условия (наличие всходов и подроста нормального жизненного состояния, отсутствие межвидовой и внутривидовой конкуренции) в долине р.Кашкатор, представляющий собой правый приток р.Чон-Кызыл-Су обусловили дальнейшее продвижение елового фитоценоза в сторону ледниковой зоны.

С изменением климата происходят изменения в структуре и свойствах растительного покрова горных экосистем. Наиболее уязвимыми к различным видам воздействия являются экосистемы прибрежной полосы оз. Иссык-Куль и приледниковые экосистемы. В первом случае, главным лимитирующим фактором естественного развития экосистем является антропогенный фактор, во - втором случае, – климатические условия.

Результаты исследований показали, что крайний экологический пессимум наблюдается в приозерных и приледниковых экосистемах, а максимальный экологический оптимум в лесных.

При условном распределении высших растений Прииссыккулья по основным экосистемам выявлено, что наибольшим видовым разнообразием представлены лесные экосистемы и наименьшим количеством видов отличаются приозерные экосистемы.

Сигналом изменения экологической среды (условий увлажнения) является уменьшение или исчезновение основных эдификаторов.

В результате условного распределения высших растений Прииссыккулья и бассейна р. Сары-Джаз по основным трем экосистемам было выявлено, что наибольшее разнообразие видов растений зафиксировано в лесных экосистемах Прииссыккулья и приледниковых экосистемах бассейна р. Сары-Джаз, и, наоборот, наименьшим видовым разнообразием обладают лесные экосистемы бассейна р. Сары-Джаз и приледниковые экосистемы Прииссыккулья.

Сильная расчлененность рельефа и присутствие озера Иссык-Куль, создающего особый микроклимат, отразились на видовом биоразнообразии растительности Прииссыккулья.

По приуроченности к типу местообитания с определенным режимом влаги, главенствующее место отводится мезоксерофитным видам. Большинство растений произрастает в условиях с периодически недостаточным увлажнением, что подтверждает принадлежность к числу флор ксерических территорий Древнего Средиземья, в целом к аридной зоне. В бассейне р. Ала-Арча доминирующее количество мезофитов и отсутствие ксеромезофитов наглядно характеризует его гумидную растительность, большую увлажненность, преобладание лесных и луговых экосистем в отличие от остальных изучаемых территорий.

Сравнительный биогеографический анализ горных экосистем бассейна р. Сары-Джаз и бассейна р. Чон-Кызыл-Суу в пространственно-временном срезе и построенный экологический ряд основных растений-индикаторов позволил установить, что доминантами – эдификаторами среды являются многолетние мезоксерофиты. Их обилие и широкое распространение свидетельствуют о толерантности к окружающей среде.

Picea schrenkiana - особо чуткий биоиндикатор климатических условий для бассейна р. Сары-Джаз, экологический предел распространения которой крайне ограниченный.

Festuca valesiaca, как сильный индикатор антропогенного пресса, произрастает в семи различных местообитаниях, отличающихся характером увлажнения, является самым толерантным растением по отношению к влаге и пастбищной нагрузке.

Большая часть территории используется под многолетними пастбищами сезонного, преимущественно летнего и частично осенне-зимнего применения, для крупного и мелкого рогатого скота (яководство, коневодство, овцеводство, козоводство), поэтому преобладает пастбищная эрозия, но так же можно отметить присутствие и водной, и ветровой эрозии почвенного покрова.

Изменение флористического богатства и границы распространения растительного покрова горных экосистем является результатом глобального потепления климата и всех последствий, связанных с последним фактором. Наблюдается смещение границ почвенно-растительных поясов, что связано с изменением степени увлажнения. Подобные исследования на одних и тех же реперных участках с географической и экологической точки зрения имеют большую ценность и содействуют комплексному развитию водосборных районов. Для проведения мониторинга на одной территории необходимы многократные повторные исследования (минимум 2-3-х летние).

Список использованных источников

1. Метеорология и климатология. Изменения и колебания климата. [http://students.russianplanet.ru/geography/atmosphere…]

2. Подрезов О.А., Бакиров К.Б., Закурдаев А.А., Маяцкая И.А. Современный климат Кыргызстана и сценарии его изменений в XXI веке.

3. Глобальный климат /Под ред. Дж.Т.Хоттона / Пер. с англ. - Л.: Гидрометеоиздат, 1987. - 502 с.

4. Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы / Под ред. Б.Болена, Б.Д.Дееса, Дж.Ягера, Р.Уорика / Пер. с англ. - Л.: Гидрометеоиздат, 1989. - 557 с.

5. Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. Summary for Policymakers and Technical Summary. - WMO/UNER, 2001.

6. Подрезов О.А., Диких А.Н., Бакиров К.Б. Изменчивость климатических условий и оледенения Тянь-Шаня за последние 100 лет. // Вести. Кыргызско-Российского Славянск. ун-та. 2001. - Т. 1. - №3.- С. 33-40.

7. Борисентов Е.П. Многокомпонентная природа парникового эффекта и некоторые сопутствующие явления //Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия. – М.: ГЕОС, 2000., с.24-39.

8. Статистические методы в метеорологии/ Пер. С англ. под ред.Л.С.Гандина, Р.Л. Кагана.- Л.:Гидрометеоиздат, 1972. – 22с.

9. Абылмейизова Б.У., Элеманов О.И. Экспансия верхней границы елового леса в нивально-гляциологический пояс при изменении климата на Тянь-Шане за последние 50 лет // Лед и снег, №4. Москва, Изд-во «Наука», 2011., с. 32-38.

10. Диких А.Н. Основные особенности условий существования современного оледенения Тянь-Шаня //Оледенение Тянь-Шаня , Фрунзе:Илим, 1976, с.3-13.

11. http://issyk-kul2000.narod.ru/nauk12.html

12. Диких А.Н., Михайлова В.И. /Режим ледников и водный баланс Северного склона хребта Терскей Ала-Тау. Результаты исследований по международным геофизическим проектам. -М.: Наука, 1976., 131с.

13. Турманина В.И. Перспективы применения фитоиндикационных методов в гляциологии. // Фитоиндикационные методы в гляциологии. Москва, 1971., с.5-19.

14. Мягков С.М. Возможные изменения природы Центрального Тянь-Шаня к 2925 году // Вестник МГУ, № 5, серия географическая, 1981., с.28-32.

15. Абылмейизова Б.У., Элеманов О.И. Влияние изменения климата на динамику границы лесо-лугово-степного пояса бассейна реки Сары-Джаз. //Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. «Изд-во научных журналов и детской художественной литературы», Бишкек, №3, 120-124 с.

16. Национальный доклад о состоянии окружающей среды Кыргызской Республики за 2006-2011 годы. (Государственное агентство охраны окружающей среды и лесного хозяйства при Правительстве Кыргызской Республики. ПРООН-ЮНЕП «Бедность и окружающая среда» в Кыргызской Республике. –Бишкек, 2012., 120 с.

17. Камелин Р.В. Флора Сырдарьинского Каратау: Материалы к флористическому районированию Средней Азии – Л., 1990.-146с.

18. Рысалиева А.Р. Растительность междуречья Аламедин и Ала-Арча и ее хозяйственное значение. –Фрунзе:Илим. -1976., 190 с.

19. Аболин Р.И. Естественно-историческое районирование Средней Азии. Ташкент, 1936.

20. Соболев Л.Н. Очерк растительности Иссык-Кульской котловины. Фрунзе: «Илим», 1972., 92 с.

21. Григоренко П.Г. Основные черты геологического развития Киргизского Тянь-Шаня в четвертичном периоде. /Материалы по геологии кайнозоя и новейшей тектонике Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим, 1970, с.5-23.

22. Качаганов Ш. К геоморфологии и истории развития рельефа долины реки Чон-Кемин (Северный Тянь-Шань). // Известия АН Кирг. ССР, №3. –Ф.: Изд-во «Илим», 1971., с.20-26.

23. Уткина Н.Г. Геоморфологическое строение //Детальное сейсмическое районирование Восточной Киргизии. Под. Ред.Кнауф В.И. – Фрунзе: «Илим»,1988, 250с.

24. Основные черты геоморфологического строения области. /Геологические основы сейсмического районирования Иссык-Кульской впадины(Северный Тянь-Шань).Под ред. К.Е. Калмурзаева. – Фрунзе: «Илим», 1978., 151 с.

25. Качаганов Ш. Древнее оледенение бассейна реки Чон-Кемин. // Материалы по новейшему этапу геологического развития Тянь-Шаня. – Фрунзе: «Илим», 1971., с.31-43.

26. Качаганов Ш., Сыдыков Дж. Древнее оледенение бассейна р. Чон-Ак-Су (Южный склон хр. Кунгей Ала-Тоо). //Динамика и режим современного и древнего оледенения. – Фрунзе: «Илим»,, 1977., с. 63-75.

27. Качаганов Ш. Древние ледниковые комплексы горного обрамления Иссык-Куля. // Северный Тянь-Шань в Кайнозое. –Ф.: Изд-во «Илим», 1979., с.101-115.

28. Атлас Киргизской ССР. Отв. ред. С.У. Умурзаков. М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, т. 1, 1987г.

29. Рязанцева Е.А. /Климат Киргизской ССР. Отдел географии, АН Кирг. ССР. - Фрунзе: «Илим», 1965., 289с.

30. Азыкова Э.К. Ландшафтная карта Иссык-Кульской впадины. //Структура и динамика компонентов природы Тянь-Шаня. – Фрунзе: «Илим»,, 1973., с.45-52

31. Гришина Л.А., Мягкова А.Д., Русакова И.В.. Морфология и микроморфология почв луговых разнотравно-злаковых ельников Тянь-Шаня. // Структурно-функциональные особенности некоторых компонентов лесных экосистем Прииссыккулья. – Фрунзе: «Илим»,, 1984., с.79-99.

32. Абылмейизова Б.У., Кенжебаева Н.В. Оценка влияния увлажненности почвы на биоразнообразие растительного покрова горных экосистем Тянь-Шаня. // Вестник Кыргызского государственного университета им. И. Арабаева – Бишкек, 2011. – Вып. 1. – С. 21-25.

33. Шитиков, Г.С. Розенберг К. /Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения. Институт экологии Волжского бассейна РАН.

34. Третий национальный отчет по сохранению биоразнообразия Кыргызской Республики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.caresd.net/img/docs/3365.pdf

35. Касиев К.С. Типы, формации и группы ассоциаций растительного покрова Биосферной Территории Иссык-Куль и их антропогенные изменения. – Бишкек, 2004 – 310 с.

36. Касиев К.С. Растительный покров Биосферной Территории Иссык-Куль и его изменения под влиянием антропогенных факторов : Автореф. дис. ... док. биол. наук. - Бишкек, 2010. - 42 с.

37. Кенжебаева Н.В. Флора бассейна реки Чонаксуу (южный склон хребта Кунгей Ала-тоо): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. - Бишкек, 2004. - 21 с.

38. Султанова Б.А., Лазьков Г.А., Кенжебаева Н.В. Флора Иссык-Кульского государственного заповедника. // Известия НАН КР. - Бишкек, 2006. – № 2 - С.118-125.

39. Сабирова Ж.Н. Пустынно-степные растительные сообщества и биогеохимические аспекты доминантов Западного Прииссыккулья : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. - Бишкек, 2008. - 25 с.

40. Пименов М.Г., Клюйков Е.В. Зонтичные (Umbelliferae) Киргизии. – Москва, 2002., 286 с.

41. Камелин Р.В. Флорогенетический анализ естественной флоры горной Средней Азии. -Л.: Наука, 1973.

42. Серебряков И.Г. Жизненные формы высших растений и их изучение // Полевая геоботаника. - М.: АН СССР, 1964. – Т. 3. – С. 146-205.

43. Ионов Р.Н., Лебедева Л.П., Султанова Б.А. Редкие уникальные растительные сообщества Тянь-Шаня и Алая Кыргызстана, находящиеся на грани исчезновения.// Известия НАН КР – Бишкек, 2001. - № 1-2 – С. 48-50

44. Умралина А.Р., Султанова Б.А., Мосолова С.Н. Анализ количественных соотношений эндемичных и редких видов растений по ботанико-географическим районам Кыргызстана.// Известия вузов. - Бишкек, 2006. -№ 5-6 - С. 132-135

45. Красная книга Кыргызской Республики. Раздел «Высшие растения» / Сост.: Ионов Р.Н., Лебедева Л.П., Лазьков Г.А., Султанова Б.А. и др. – 2-е издание – Бишкек, 2007. - С. 47-227

46. Абылмейизова Б.У., Кенжебаева Н.В. Геосистемные аспекты растительного покрова Прииссыккулья. // Известия НАН КР. - Бишкек, 2011. – № 3 - С.49-53.

47. Раменский Л.Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова. -Л.: Изд-во «Наука», 1971., 328 с.

48. Шенников А.Г. Экология растений. – М.: Изд-во «Советская наука», 1950. - С. 133-192.

49. Никитина Е.В. Материалы по флоре северного склона хребта Киргизского Ала-Тоо. - Фрунзе: Изд-во АН КиргССР, 1960. – 148 с.

50. Никитина, Е.В. Флора и растительность пастбищ и сенокосов хребта Киргизский Ала-Тоо. - Фрунзе: Изд-во АН КиргССР, 1962. - с. 247-276.

51. Рысалиева, А.Р. Растительность междуречья Аламедин и Ала-Арча и ее хозяйственное значение. - Фрунзе: Илим, 1976. – С. **16-117.**

52. Ионов Р.Н., Исакова Т.В., Лебедева Л.П. Растительность Кыргызского национального природного парка «Ала-Арча» // Вестник МУК – 2000.- № 4 (12) – с.86-90.

53. Исакова Т.В. Флора Кыргызского Государственного природного парка «Ала-Арча»: Дис. раб… канд. биол. наук. -Бишкек, 2010.

54. Абылмейизова Б.У., Усен уулу Бактыбек, Кенжебаева Н.В. Геосистемные аспекты растительного покрова хребта Кыргызский Ала-Тоо (бассейн р. Ала-Арча) // Наука и новые технологии. – Бишкек, 2013. – № 4. – С. 162-165.

55. Атлас флоры и фауны особо охраняемых природных территорий Центрального Тянь-Шаня (Кыргызская Республика). Бишкек, 2016.

56. Орозгожоев Б.О. /Структура и динамика ландшафтных компонентов Центрального Тянь-Щаня. Ф., Изд-во «Илим», 1981., 170 с.

57. Мамытов А.М. Семенов-Тянь-Шанский и развитие научных представлений о вертикальной зональности почв Центрального Тянь-Шаня. «Изв. Кирг. Фил. Всесоюз. Геогр. О-ва», вып.1, 1959.

58. Элеманов О.И., Абылмейизова Б.У. Влияние изменения климата на динамику границы лесо-лугово-степного пояса бассейна реки Сары-Джаз. //Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. №3, 120-124 с.

59. Кожевникова Н.Д. Еловые леса бассейна реки Сары-Джас (Центральный Тянь-Шань). //Работы Тянь-Шаньской физико-географической станции АН Кирг. ССР, вып.5. –Ф., Изд-во АН Кирг. ССР, 1962., с. 93-113.

60. Юнатова А.А. /Основные черты растительного покрова Монгольской Народной Республики. М-Л., 1950.

61. Цаценкин, 1967, 1970; Цаценкин, Касач, 1970; Методические указания…, 1974, 1978, Селедец, 2000

62. Ниценко А.А. Об изучении экологической структуры растительного покрова // Ботанический журнал. –Л., № 7, т. 54. 1969., с. 1002–1014.

63. Королюк А.Ю.. Использование шкал в геоботанических исследованиях. Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск akorolyuk@csbg.nsc.ru.

64. Викторов С.В., Чикишев А.Г. Ландшафтная индикация – Москва: Изд-во «Наука», 1985, - 95 с.

65. Раменский Л.Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова. -Л.: Изд-во «Наука», 1971., 328 с.

66. Алисов Б.П. Курс климатологии. М.: 1972.- С.113-132.

67. Климат Фрунзе. // Под редакцией Е.С. Скибы, Ц.А. Швер. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. - 136с.

68. Оценка влияния ущербов от загрязнения окружающей среды на конкурентоспособность водорода как моторного топлива (Отрасли и межотраслевые комплексы) / Ю. В. Синяк, В. Ю. Петров // Проблемы прогнозирования. - 2009. - № 2. - С. 63-77.

69. Национальный статистический комитет Кыргызской Республики.-Бишке, 2019 г. - http://www.stat.kg.

70. Государственная регистрационная служба при Правительстве Кыргызской Республики. Государственное учреждение "УНАА"- https://grs.gov.kg/ru

71. Ситдикова А.А., Святова Н.В., Царева И.В. Анализ влияния выбросов автотранспорта в крупном промышленном городе на состояние загрязнения атмосферного воздуха // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3,- https://www.science-education.ru.

72. Степанова Н.В., Святова Н.В., Сабирова И.Х., Косов А.В. Оценка влияния и риск для здоровья населения от загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта // Фундаментальные исследования. – 2014. - № 10-6. – С. 1185-1190.

73. Методические указания по расчету выброса вредных веществ автомобильным транспортом. Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, М., Московское отделение - Гидрометеоиздата, 1984 г., -12 с.

74. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. -Л., Гидрометеоиздат, 1986 г - 142 с.

ГЛАВА 6. РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА МЕТОДОМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВОДОЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ СЕВЕРНОГО КЫРГЫЗСТАНА

Б. М. Жакеев; Э. С. Шаршеев; А. У. Чымыров; Г.К. Асанакунова

Геоинформационные системы и дистанционное зондирование земли в совокупности стали неотъемлемыми средствами при изучении поверхности Земли и расположенных в ее пределах подземных, наземных и надземных объектов.

Сфера применения этих технологий непрерывно расширяется, поэтому сложно перечислить все области использования ГИС и ДЗЗ, поскольку их возможности практически безграничны.

Основными назначениями ГИС и ДЗЗ считается формирование знаний о процессах и явлениях, происходящих на земной поверхности, с целью их использования для решения практических задач.

Таким образом, ГИС и ДЗЗ в настоящее время представляют собой современный тип интегрированной информационной системы, применяемой в различных сферах деятельности человека.

Информация о рельефе местности необходима при реализации различных проектов, а также при ортотрансформировании данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Важнейшими источниками такой информации являются цифровые модели местности (ЦММ) и рельефа (ЦМР). ЦММ представляют собой точные данные о высоте земной поверхности, включая здания, растительность и другие высотные объекты, а ЦМР содержат информацию о высоте непосредственно поверхности земли. Глобальные ЦМР и ЦММ строятся, в основном, по данным стереоскопической оптической и интерферометрической радиолокационной космической съемки.

Имеется ряд исследований по использованию и анализу различных ЦМР на основе данных космический съемки. Изучение имеющихся сравнительных исследований разных цифровых моделей рельефа показали, что сопоставлять данные различных исследований усложняется в связи с разными версиями сравниваемых ЦМР, разными видами проверочных данных, разными типами ландшафтов и землепользования, а также разностью методики оценки пространственной точности моделей. Некоторые исследования показали, что новая версия SRTM v3.0 может иметь сравнительно высокую горизонтальную и вертикальную точность по сравнению ЦМР на основе ASTER [9]. Исследования по сравнению ЦМР на основе AW3D30 с другими моделями показывают ее относительно высокую горизонтальную и вертикальную точность по сравнению с моделями на основе данных SRTM и ASTER соответствующего пространственного разрешения [1].

В горных условиях спутниковые радарные снимки имеют свои недостатки, которые обусловлены неразмеченными пикселями (voids или NoData) и искажениями из-за влияния горных вершин на результаты наклонной съемки со спутников, постоянной облачности и сильным влиянием наклона и экспозиции поверхности, ущелий, речной сети и дорог. Каждая спутниковая система имеет свои особенности, которые зависят от местоположения определенного района изучения и требуют тщательного исследования для каждого случая [15].

К основными результатами деятельности лаборатории Информационного обеспечения ИВП и ГЭ на период с 2016 – 2020 гг. можно отнести следующие работы:

- исследование ледника «Лысый» по средством спутниковых снимков;
- исследование водо-земельных ресурсов посредством:
- сельскохозяйственного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index);
- вегетационного индекса (VI);
- мультиспектрального индекса, используемые для определения водных объектов NDWI ;
-- нормализованный разностный индекс снега (льда)NDSI, для определения ледников;
--и других индексов, используемых для анализа пространственных данных;
- создание цифровых моделей местностей на основе спутниковых снимков и снимков полученный на базе беспилотно – летательного аппарата GEOSCAN 403;
- создание 3D моделей местностей на примере юго-восточной части котловины оз. Иссык-Куль.
- модернизация информационно-справочной системы Иссык-Кульской области по водо-земельным и гидроэнергетическим ресурсам.
- моделирование границ бассейнов рек.

С учетом многогранного характера управления водными ресурсами мира многие страны и регионы внедряют интегрированный подход в управление водными ресурсами на бассейновом уровне. Это позволяет более эффективной реализации принципов интегрированного управления водными ресурсами в бассейнах рек, озер и водоносных формаций [9].

1. Расчет сельскохозяйственного индекса NDVI

Знания о связи структуры и состояния растительности с ее спектрально отражательными способностями позволяют использовать аэрокосмические снимки для картографирования и идентификации типов растительности и их стрессового состояния.

Для работы со спектральной информацией часто прибегают к созданию так называемых «индексных» изображений.

На основе комбинации значений яркости в определенных каналах, информативных для выделения исследуемого объекта, и расчета по этим значениям «спектрального индекса» объекта строится изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе, что и позволяет выделить исследуемый объект или оценить его состояние.

Спектральные индексы, используемые для изучения и оценки состояния растительности, получили общепринятое название вегетационных индексов. Географический ситуационный обзор исследуемого участка на юго-восточной части котловины оз. Иссык-куль (рис.1).



Рис. 1. Обзор исследуемого участка в ONLINE режиме в программном обеспечении с сайта Google Earth.

Графическое представления расчета сельскохозйственного индеса NDVI и наглядный рисунок исследуемого участка (рисунок 2, 3).



Рис. 2. Схематическая карта расчетного участка

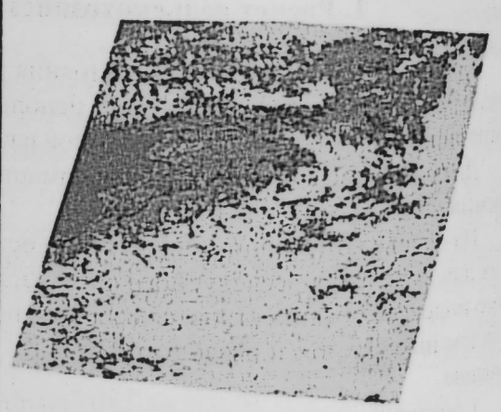


Рис. 3. Результат расчета сельскохозяйственного индекса NDVI

Характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн.

Земельные ресурсы, пастбища, горы, хребты, водные ресурсы, лесаполосы, пустыни, болота, сельскохозяственные орошаемые и не орошаемые площади, дороги, озера, моря, океаны, и многие другие объекты.

Наглядное изображение на рисунках полученно посредством спутниковых снимков со спутника Landsat 8. Исследование проводились на базе програмного обеспечения ENVI 4.5.

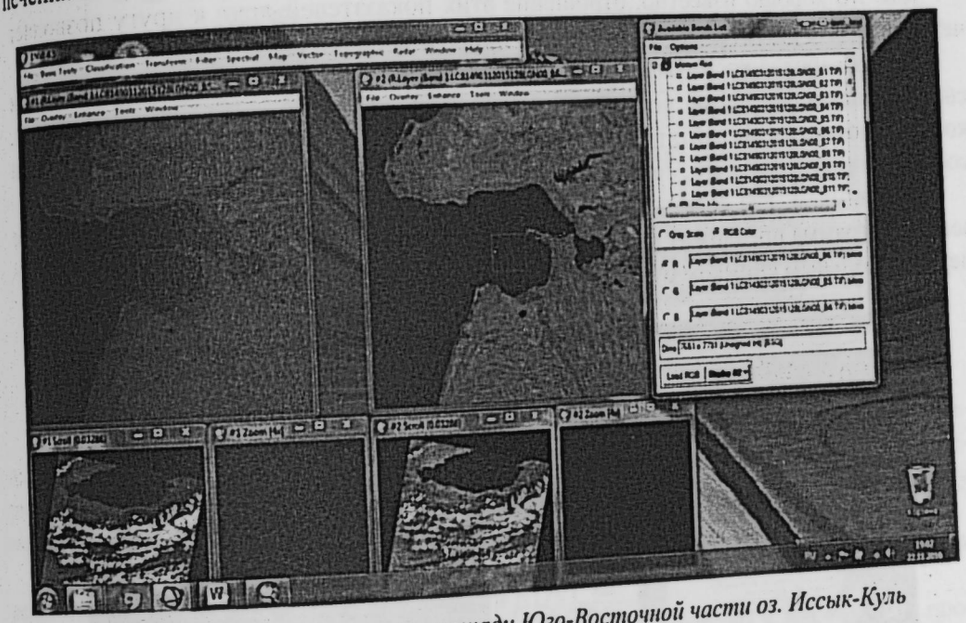


Рис.4. Сельскохозяйственные площади Юго-Восточной части оз. Иссык-Куль

На рисунке 4 в белой окне показан список использованных спутниковых снимков. Комбинация спутниковых снимков в режиме RGB- значений показывает графическое изображение сельскохозяйственных орошоаемых площадей и водных ресурсов оз. Иссык-Куль.

Изображения на рисунке с левой стороны и по середине-это участок исследования сельскохозяйственных площадей и водных ресурсов оз. Иссык-Куль с использованием разных мозаик цвета.

1.1. Вегетационный индекс (ВИ)

ВИ – это показатель, рассчитываемый в результате операций с разными спектральными диапазонами (каналами) данных дистанционного зондирования и имеющий отношение к параметрам растительности в данном пикселе снимка.

Эффективность ВИ определяется особенностями отражения; эти индексы выведены, главным образом, эмпирически.

В настоящее время существует около 160 вариантов вегетационных индексов.

Они подбираются экспериментально (эмпирическим путем), исходя из известных особенностей кривых спектральной отражательной способности растительности и почв.

Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках кривой спектральной отражательной способности растений (рисунок 5).

На красную зону спектра (0,62 - 0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75 - 1,3 мкм) максимальное отражение энергии клеточной структурой листа т.е. высокая

фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с большой фито массой растительности) ведет к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной.

Как это хорошо известно, отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов.

При обработке космических снимков в программном комплексе ENVI имеется специальный калькулятор вегетационных индексов ENVI (калькулятор ВИ ENVI), который позволяет рассчитать 27 вегетационных индексов, используемых для оценки состояния растительности, содержания пигментов, азота, углерода, воды.

По снимкам, где есть только красная и ближняя инфракрасная спектральные зоны, программа предложит рассчитать два индекса – NDVI и RVI. При работе с гиперспектральным снимком будет предложен расчет всех 27 индексов.

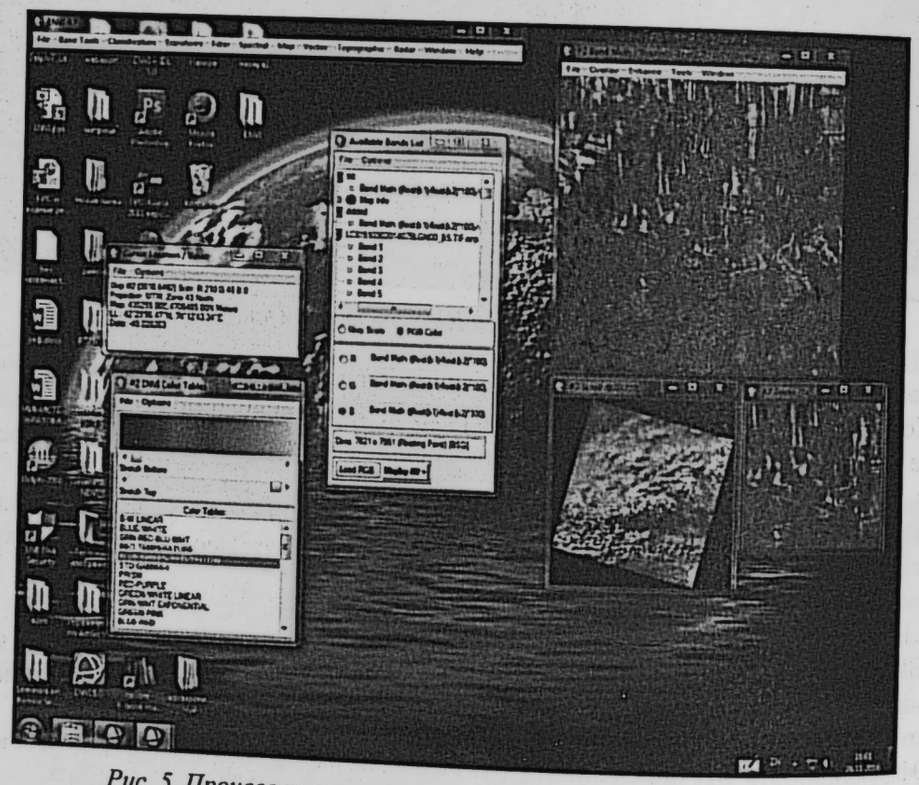


Рис. 5. Процесс расчета в программном обеспечении ENVI4.5 сельскохозяйственного индекса NDVI

1.2. Индекс NDVI

В настоящее время для решения большинства сельскохозяйственных задач используются специальные технологии дешифрирования снимков, получаемых при систематических повторных съемках, которые обеспечивают наблюдение за динамикой развития сельскохозяйственных культур.

Для дешифровки важно сезон выбора космосснимка и выбор канала.

Значения за 2015 и за 2017 -е годы на спутниковых снимках спутника Landsat 8.

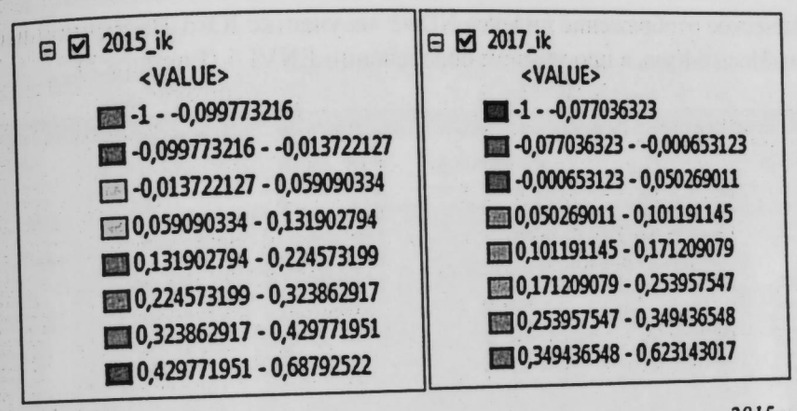


Рисунок 6. Количество каналов на спутниковых снимках и их значении за 2015 и 2017 гг.

При этом наиболее широкое распространение при дешифрировании и при анализе различий в спектральных яркостях растительности в течение вегетационного периода получил индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), по которому можно судить об агротехническом состоянии посевов [22].

Для обнаружения очагов болезней и вредителей также в основном применяются вегетационные индексы (ВИ), в частности NDVI.

Кроме этого индекса, вычисление которого уже включено в популярные программы для обработки спутниковых данных, например, ENVI, имеется ряд других (таблица 1), каждая из которых ориентирована на определенный анализ растительного или почвенного покрова.

Одни индексы оптимизированы для оценки смешанного почвенно-растительного сигнала, другие для полного листового покрытия и т. д.

В любом случае цель использования растительного индекса – это создание корректной системы линейного взвешивания: величина индекса – параметры растительности.

Под параметрами растительности обычно понимают либо объем зеленой растительной биомассы, либо долю проективного листового покрытия почвы, либо продуктивность.

Таблица 1. Формулы расчета индексов

Ratio Vegetation Index	RVI=NIR/Red
Normalized Difference VI	NDVI=(NIR-Red)/ (NIR-Red)
Infrared Percentage VI	IPVI=NIR/(NIR+Red)
Difference VI	DVI=NIR-Red
Perpendicular VI	PVI=sin(Y)*NIR-cos(Y)*Red Где Y- угол между почвенной линией и осью NIR
Weighted Difference VI	WDVI=NIR - C*RED, где C=NIR / RED для почвы.
Soil Adjusted VI	SAVI=(1 + L)*(NIR - RED) / (NIR + RED + L), Где L- [0;1] 0 – наибольшее проективное покрытие; 1- наименьшее.
Global Environmental Monitoring Index	GEMI= v*(1 - 0.25*v) - (RED - 0.125) / (1- RED); Где v=[2*(NIR^2 – RED^2) + 1.5*NIR + 0.5*RED] / (NIR + RED + 0.5).

Графическое отображение индекса NDVI на участке Юго-Восточной части котловины оз. Иссык-Куль в программном обеспечении ENVI 5 (Рисунок7).



Рис. 7. Распознование природных объектов

- (-0.375 to -0.25) – Вода (водная поверхность оз. Иссык-Куль)

- (-0.25 to -0.125)- Водная растительность

- (0 to 0.125 – 0.25) - Открытая почва

(0.5 to 0.625) Разреженная растительность

- (0.625 to 0.75) Густая растительность .

Анализ: Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных участках кривой спектральной отражательной способности растений. На красную зону спектра (0,62–0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75–1,3 мкм) – максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. Высокая фотосинтетическая активность ведет к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной. Отношение данных показателей позволяет распознавать состояние растительности.



Рис. 8. Результат дешифрирования при отключенном красном спектре (0,62–0,75 мкм) и инфракрасной зоны (0,75–1,3 мкм).

При отключенной красной и инфракрасной зоны почти что не наблюдается изменение по площади, белый оттенок это площадь при включенной красной и инфракрасной зоны, как показано на рисунке 8.



Рис. 9. Распространение индекса NDVI на все сельскохозяйственные участки котловины оз. Иссык-Куль

Анализ: Агроэкологическая оценка территории предполагает анализ земель по наиболее значимым природным факторам, влияющим на формирование ландшафта.

Для осуществления агроэкологической оценки земель привлекаются разнообразные данные: топографические карты, почвенные карты, материалы природного районирования, статистические источники. Более широкие возможности связаны с космическими технологиями получения информации, и ее обработки, а также с геоинформационными технологиями (ГИС).

Геоизображения, представленные космическими снимками обладают рядом достоинств: большой охват территории, объективное отражение существующей реальности, возможность оперативного обновления данных.

Хотя карта по-прежнему остается мощным средством изучения пространственно-координированных явлений и объектов, на геоизображениях находят отражение природные комплексы, а также их составные компоненты: рельеф, гидрография, растительность, почвенный покров, морфологическая структура ландшафта в естественных границах.

Изучение этих компонентов является одной из задач агроэкологической оценки земель.

Автоматизированные или количественные методы не могут полностью заменить собой традиционные методы дешифрирования, но обладают рядом преимуществ, к которым относятся возможность проведения количественного анализа, определение большого числа оттенков серого цвета и другие.

При реализации процедур автоматизированного анализа используются различные методы, которые реализуют алгоритмы контролируемой и неконтролируемой классификации.

Методы контролируемой классификации требуют наличия эталонов классов природных объектов, получаемых по наземным спектрофотометрическим измерениям на тестовых полигонах, то есть стандартизированных спектров отражения.

Создание эталонов классов является трудной задачей, требует значительных трудовых и временных ресурсов из-за необходимости получения представительной выборки, так как в последующем осуществляется интерполяция на всю изучаемую территорию.

Изображения на спутниковых снимках в результате расчета сельскохозяйственного индекса, к примеру, NDVI (рисунках 10;11;12;13;14) виден как мозаика много разных цветов по всюду на изображении.

Результаты расчетов сельскохозяйственного индекса NDVI по спутниковым снимкам 2015 и 2017 годов



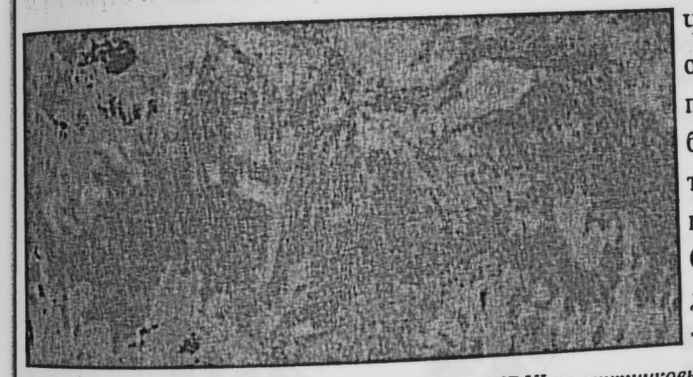
На северной стороне замечается, бассейн р. Джергалан, который подпитывает, оз. Иссык-Куль

Рис. 10. Спутниковый снимок исследуемого участка



Расчет индекса NDVI позволила проявить участки сельскохозяйственных угодий местности. Можно различать градиенты по дискретной шкале NDVI

Рис. 11. Результат расчета индекса NDVI по спутниковым снимкам 2015 года



Четко определяются овраги, окрестности и подножья предгорий бледно коричневым цветом, не являющиеся орошаемыми участками. Орошаемые участки выделяются зеленным цветом.

Рис. 12. Результат расчета индекса NDVI по спутниковым снимкам 2015 года



Рис. 13. Результат расчета индекса NDVI по спутниковым снимкам 2017 года

У Джергаланского залива сосредоточены речные бассейновые притоки: р. Джергалан, р. Кара-Коп. На конусах выноса горных долин, увлажненных ручьями, зеленеют луга, а иногда и посевы.

Количество осадков здесь достаточно (около 400 мм), полоса прибрежной пустыни все больше сужается с запада на восток и сменяется сухими степями, занимающими равнины и предгорья. Здесь на коричневых почвах, реже на сероземах, растут дерновинные злаки; ковыли, типчак, тонконог, а также астрагалы и такие сухолюбы, как полукустарники полыни, терескена, пижмы и колючей караганы.



Преобладают градиенты значений 0.5 и 0.7

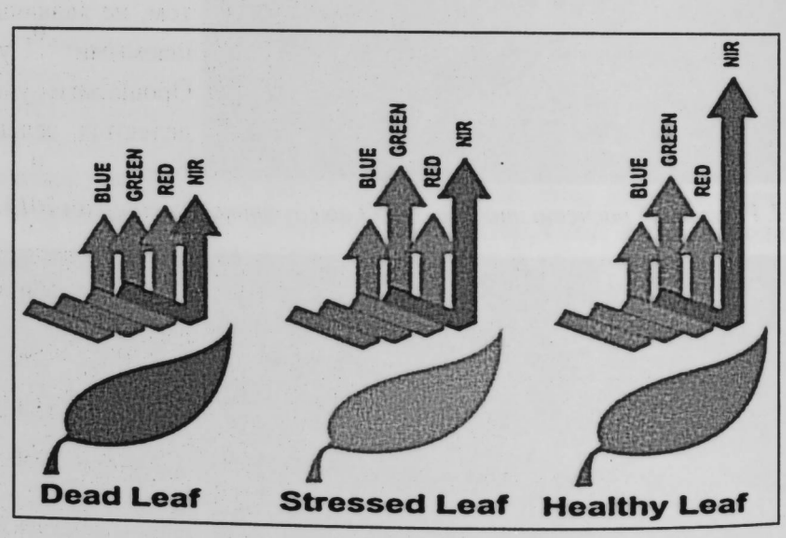
По значениям дискретной шкалы NDVI:

0.5- разреженная растительность;

0.7- густая растительность.

Рис. 14. Результат расчета индекса NDVI по спутниковым снимкам 2017 года

Нормальное здоровое растение поглощает синий и красный свет и отражает зеленый свет, поэтому они кажутся зелеными на наших глазах. С зеленым видимым светом растения также отражают свет ближнего инфракрасного света(NIR). Этот тип света, невидимый человеческому глазу, также активно используется для процесса фотосинтеза, и чем здоровее растение, тем больше отражается свет в инфракрасном спектре NIR.



Мертвый лист **Обезвоженный или стрессовый лист** **Здоровый лист**

Рис. 15. Отражение листьев растений на инфракрасном свете (NIR)

Dead Leaf - Мертвый лист

Stressed Leaf – Обезвоженный или стрессовый лист

Healthy Leaf - Здоровый лист

Когда растение становится обезвоженным или стрессовым, губчатый слой растения разрушается, а его листья отражают меньше света NIR, но все же они отражают такое же количество света в видимом диапазоне.

Как видно на рисунке, различия отражательной способности листьев различные как RED и NIR. Обезвоженный или стрессовый лист так же здоровый лист отражают почти такое же количество синего, зеленого, красного света, но здоровый лист отражает на 1/3 больше ближнего инфракрасного света NIR.

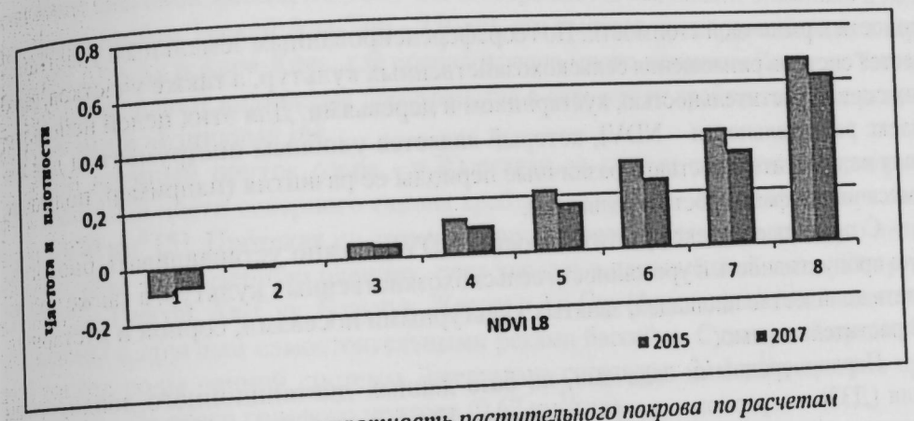


Рис. 16. Частости и плотность растительного покрова по расчетам сельскохозяйственного индекса NDVI

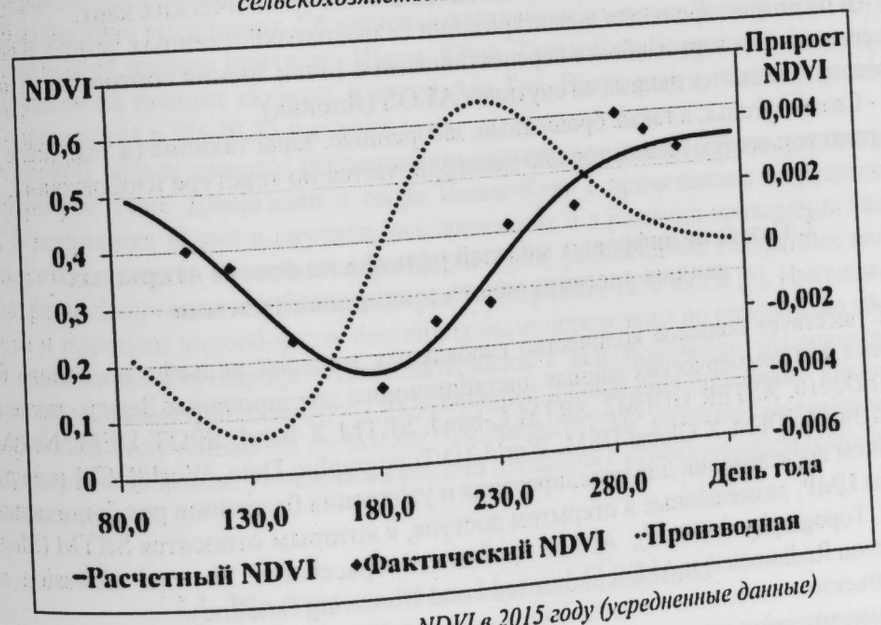


Рис. 17. Сезонная динамика NDVI в 2015 году (усредненные данные)

Вывод:

Физиологическое или биологическое состояние у всех природных объектов разное, каждый природный объект дает свою картину внутреннего состояния на момент к воздействия электромагнитным волнами. Электромагнитные волны имеют разную частоту колебания. Эти частоты несут энергию, листья растений имеют разные молекулы, которые тоже колеблются на разных частотах, при совпадении частот молекул листьев и частоты света наступает резонанс, т.е. увеличивается энергия и этот свет (энергия) не отражается, а поглощается растениями.

- Используя при дешифрировании информацию об изменении спектральной яркости растительности в течение вегетационного периода и индекс **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)**, можно по тону изображения полей судить об их агротехническом состоянии.

- Каждый земельный участок, имеющий тематические данные как природные ресурсы, может быть оценен по биологической продуктивности, его экономической

ценности и рыночной стоимости. По георефернсированным земельным участкам создается система размещения сельскохозяйственных культур, а также участков, заросших сорной растительностью, кустарником и деревьями. Для этих целей используют индекс растительности – NDVI, который является удобным инструментом для контроля над растительностью в различные периоды ее развития (например: подекадно, помесячно по фазам роста и развития).

- С помощью индекса растительности- NDVI, можно устанавливать биологическую продуктивность и урожайность сельскохозяйственных культур, а также подсчитывать количество площадей, занятых культурными посевами, сорной и кустарниковой растительностью.

- Первоочередными задачами, на базе данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) в аграрном секторе экономики Кыргызской Республики, являются инвентаризация сельхозугодий и создание специальных тематических карт.

- В настоящее время для инвентаризации сельскохозяйственных земель и создания специальных карт наиболее перспективными с точки зрения соотношения «цена – качество» являются данные со спутника **ALOS** (Япония).

- Сельхозугодья, а также брошенные, засоренные, зарастающие (в том числе лесной растительностью) земли хорошо дешифрируются по текстуре изображения.

2. Создание цифровых моделей рельефа на основе открытых данных дистанционного зондирования земли

Существует большое количество глобальных моделей рельефа на основе бесплатных или коммерческих данных дистанционного зондирования Земли, такие как GMTED2010, ASTER GDEM2, SRTM C-band, SRTM X-band, SPOT DEM, NextMap World 30, TanDEM-X Global DEM, World 3D Topographic Data, WorldDEM и другие. В данном исследовании для моделирования и уточнения бассейнов рек были использованы ЦМР, размещённые в открытом доступе, к которым относятся SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) и ALOS (Advanced Land Observing Satellite).

Объектом настоящего исследования является Иссык-Кульская котловина в Кыргызстане, которая с севера и юга ограничена хребтами Кунгей, Тескей Ала-Тоо, имеет длину с востока на запад около 240 км, ширину 100 км. Центральную часть котлована занимает озеро Иссык-Куль. Озеро расположено на высоте 1608 м над уровнем моря, площадь озера — 6247 кв.км, глубина – 668 м, длина 177 км, ширина 60 км. В бессточное озеро впадает до 80 больших и сравнительно небольших притоков, из них наибольшими являются реки Джергалан и Тюп, впадающие с востока. Питание рек бассейна озера смешанное, с преобладанием талого стока - снегового и ледникового [5;6].

Озеро окружено равниной, узкая береговая полоса покрыта песком, реже галечником, местами сложена сцементированным песчаником, на отдельных участках заболочена. Равнина простирается на 40-50 км восточнее озера по долинам рек Тюп и Джергалан. На северном берегу ее ширина от 1 до 10 км, на западном 10-15 км. Длина хребта Кунгей Ала-Тоо – 280 км. Гребень хребта расположен на высоте 3800-4000 м над уровнем моря. Высшая точка – гора Чоктал (4771 м). Центральная часть хребта

лежит выше снеговой линии, поэтому здесь встречаются небольшие снежники и ледники. Длина хребта Тескей Ала-Тоо - 350 км, его высокая часть расположена в верховьях рек Ак-Суу и Кара-Кёль, где сосредоточено много ледников. К югу от Тескей Ала-Тоо преобладают волнистые пространства в окружении хребтов, покрытых вечными снегами и ледниками [6].

Самый крупный приток озера - р.Жыргалан со своими притоками формирует сток в восточной части северного склона хребта Тескей Ала - Тоо на водосборе площадью 2070 км^2 [5]. Протекая по этому склону, которая переходит в длинную полосу предгорно - приозерную равнину, река впадает в одноимённый залив. Её крупные притоки Тургон, Ак-Суу, Бозучук, Жергез и Ак-Суу (Арашан), по своей водности сопоставимы с другими самостоятельными реками бассейна. Суммарный среднегодовой расход воды речной системы Джергалана составляет 21,4 м^3/с, принося при этом в озеро 17% всего годового притока (0,67 км^3/год).

Вторая по величине река Тюп, протекающая севернее Джергалана, также впадает в озеро на востоке котловины. Её верховья начинаются на склоне Тескей Ала-Тоо, но значительные её правые притоки - Шаты, Кёчю, Талды-Суу, Корумду, Табылгыты, - формируются на южных склонах Кюнгей Ала-Тоо. Вклад реки в годовой приток в озеро оценивается в 9% (0,35 км^3/год).

Основной целью данного исследования является уточнение границ и площадей водосбора рек Тюп, Джергалан и озера Иссык-Куль с применением современных ЦМР. В настоящее время в научных исследованиях и в решении прикладных задач используется площадь бассейна озера Иссык-Куль, равная 22080 квадратных километров, реки Джергалан - 2070 кв.км и реки Тюп равная 1180 кв.км [5]. Имеющиеся границы и площади водосборных бассейнов были определены по результатам обработки аналоговых картографических материалов с использованием традиционных методов фотограмметрии и требуют их уточнения. Данные дистанционного зондирования Земли и полученные на их основе современные ЦМР позволяет моделировать бассейнов рек с целью их уточнения и расчета площадей с использованием геоинформационных систем.

2.1. Материалы и методы исследования

Важнейшими источниками пространственной информации в гидрологических исследованиях сегодня являются цифровые модели рельефа (ЦМР). Данные разных систем дистанционного зондирования Земли были выбраны качестве основного источника для сравнительного изучения в района исследований, ограниченного по широте от 41°24'45,3"с.ш. до 43°00'15,9"с.ш. и по долготе от 74°59'46,7"в.д. до 79°37'01,1"в.д. (Рисунок 18).

Основной характеристикой цифровых моделей рельефа на основе данных дистанционного зондирования Земли, определяющей точность моделирования морфометрических особенностей местности, является ошибка определения абсолютной высоты. Имеются много сравнительных исследований ошибок определения абсолютных высот разных цифровых моделей рельефа, но сопоставлять данные различных исследований усложняется в связи с разными версиями сравниваемых ЦМР, разными видами проверочных данных, разными типами ландшафтов и землепользования, а также разностью методики оценки ошибок высот.

Цифровые модели рельефа (ЦМР) района исследований были смоделированы на основе мозаики сцен из снимков AW3D30 и новых версий ASTER и SRTM. Сопоставлять данные различных исследований довольно сложно из-за использования разных версий тестируемых ЦМР, разных видов проверочных данных, разных типов ландшафтов и землепользования тестируемых участков, а также разной методики оценки ошибок высот [15-17].

В данной работе в качестве проверочных данных были использованы отметки 1284 точек, определенные на семи топографических картах масштаба 1:100000 района исследований, расположенного в высокогорном регионе Центральной Азии.

Данные SRTM получены в результате Международного исследовательского проекта Национального управления Соединенных Штатов Америки по воздухоплаванию и исследованию космического пространства (NASA), Национального агентства геопространственной разведки США (NGA), Итальянского космического агентства (ASI) и Германского центра авиации и космонавтики (DLR). Многоразовый космический корабль Shuttle «Endeavour» с сенсорами SIR-C/X-SAR (Shuttle Imaging Radar - type C / X-band Synthetic Aperture Radar) проводил измерения в трех каналах микроволн (L, C и X) в феврале 2000 года. Сенсор X-SAR собрал данные высокого разрешения (1 угловая секунда или примерно 30 м на местности), который позволил создать модель SRTM-X DEM на основе данных канала X. Их получение стало возможным с 2010 года через FTP службы of DLR. Новая версия SRTM (Version 3.0 - SRTMGL1) в формате GeoTIFF доступна с января 2015 года через веб-портал Геологической службы США (USGS) для геопространственных данных [12].

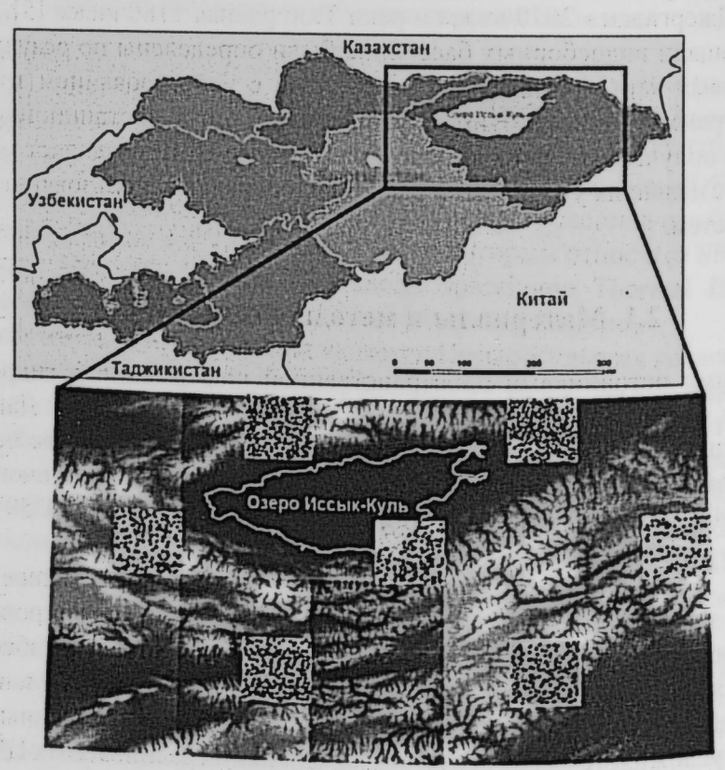


Рис. 18. Район исследований со снимками ASTER и топографическими картами с опорными точками

Сенсор ASTER был разработан совместно Министерством экономики, торговли промышленности Японии (METI) и NASA. Он запущен на борту спутника NASA Terra в декабре 1999 года. Сенсор имеет возможность стереоскопической съемки вдоль полосы пролета с помощью двух телескопов, снимающих в надир и назад в ближнем инфракрасном диапазоне с отношением база-высота (base-to-height ratio) – 0,6. Пространственное разрешение в плане - 15 метров. Одна сцена ASTER в видимом или ближнем инфракрасном диапазоне имеет размер 4100 на 4200 элементов, что соответствует 60x60 км на поверхности Земли. Первая версия ASTER GDEM была предоставлена в свободном доступе в 2009 г. Данные высот поверхности Земли между 83°с.ш. and 83°ю.ш. доступны в виде файлов сцен формата GeoTIFF с размерами 1x1 и разрешением, равным 1 угловой секунде (примерно 30 м).

Глобальная цифровая модель рельефа третьей версии 3 ASTER (GDEM V003) и наборы данных водных объектов (ASTWBD) находятся в открытом доступе с 5 августа 2019 года [1-4].

В мае 2015 года Японское агентство аэрокосмических исследований (JAXA) выпустило открытую глобальную цифровую модель рельефа «ALOS World 3D-30m (AW3D30)» с горизонтальным разрешением по широте и долготе в 1 секунду дуги (примерно 30 м). AW3D30 разработана Японским центром технологий дистанционного зондирования (RESTEC) и Корпорацией NTT DATA на основе данных, полученных с японского спутника исследования Земли ALOS (Advanced Land Observing Satellite) с помощью установленной на нем оптико-электронной системы (PRISM). В свободном доступе находится продукт AW3D30 в формате GeoTIFF с размерами ячейки на местности 30 м (в коммерческой версии размер ячейки составляет 5 м) [5].

Цифровые модели рельефа (ЦМР) района исследований были смоделированы на основе мозаики сцен из снимков AW3D30, ASTER и SRTM (Табл. 1). Все три ЦМР имеют высоты их поверхностей, вычисленные над гравитационной моделью Земли EGM96.

Таблица 2. Использованные материалы дистанционного зондирования Земли

Наименования спутника, сенсора и модели	Сцены спутникового снимка	Разрешение, угловая секунда /метр
Спутник ALOS, сенсор PRISM, модель ALOS World 3D-30m (AW3D30)	N041E075_AVE_DSM.tif – N041E079_AVE_DSM.tif, N042E075_AVE_DSM.tif – N042E079_AVE_DSM.tif	1/30
Спутник Терра (EOS AM-1), сенсор ASTER, модель ASTER GDEM Version 3	ASTGTMV003_N41E075_dem.tif – ASTGTMV003_N41E079_dem.tif, ASTGTMV003_N42E075_dem.tif – ASTGTMV003_N42E079_dem.tif	1/30
Многоразовый космический корабль «Индевор», миссия SRTM, модель SRTMGL1	n41_e075_1arc_v3.tif – n41_e079_1arc_v3.tif, n42_e075_1arc_v3.tif – n42_e079_1arc_v3.tif	1/30

Обработка пространственных данных была выполнена с использованием программных комплексов ArcGIS 10.4 и ENVI 5.1 с созданием баз геоданных. В качестве

основной была выбрана зональная система координат WGS_1984_UTM_Zone_44N (EPSG:32644). Также была использована зональная система координат Pulkovo_1942_GK_Zone_14 (EPSG:28413) для сравнительного анализа площадей цифровых моделей бассейна озера Иссык-Куль с историческими данными. Площадь бассейна озера рассчитана также с использованием равновеликой конической проекции Альберса (Asia_North_Albers_Equal_Area_Conic, EPSG:102025) с минимальными искажениями площадей объектов. Результаты работы оформляются в виде тематических карт в государственной зональной системе координат Kyrg-06_TM_Zone_4 (EPSG:7695), что требуется по национальному законодательству [4].

Перед гидрологическим моделированием необходимо анализировать каждую ЦМР использованием инструмента «Локальные понижения» модуля «Гидрология» ArcGIS 10.4 для выявления ячеек с неопределенным направлением стока. Результаты анализа показали, что имеются локальные понижения на всех спутниковых снимках, что потребовало использования инструмента «Заполнение». Далее направление стока с каждого пикселя изображения было определено с использованием инструмента пространственного анализа «Направление стока». Полученный слой имеет кодов направления стока 1-2-4-8-16-32-64-128 и позволяет далее моделировать речную сеть и их бассейнов.

Моделирование границ бассейнов рек района исследований выполнено с использованием инструмента «Бассейн» и речной сети с использованием инструментов «Суммарный сток» модуля «Гидрология» и «Калькулятор растра» программного комплекса ArcGIS. При моделировании суммарного стока не были учтены грунтовые условия, ледниковое питание и прочие параметры для точного моделирования стока, но тем не менее такая модель позволяет оцифровать речную сеть с достаточно высокой точностью для дальнейшего пространственного анализа.

Оценка точности полученных цифровых моделей рельефа на основе данных дистанционного зондирования производилась, в основном, путём вычисления вертикальной средней квадратической ошибки - (Root Mean Square Error) и арифметической средней абсолютных величин вертикальных ошибок высот сравниваемых поверхностей в опорных точках:

$$RMSEv=\sqrt{\sum(evi)2/nni}, \quad (1)$$

где вертикальная ошибка $evi=vri-vmi$,,

vri – относительная проверочная высотаопорной i-ой точки над средним уровнем моря, определённая по топографической карте,

vmi - высотаопорнойi-ой точки над средним уровнем моря на поверхности ЦМР,

n–количество опорных точек.

Альтернативной величиной при определении качества вертикальной точности также может служить арифметическая средняя абсолютных величин вертикальных ошибок

$$|\bar{ev}|=\sum|\bar{evi}|ni/n. \quad (2)$$

Стандартное отклонение вертикальных ошибок определяется по формуле

$$Sv=\sqrt{\sum(evi-RMSEv)2/(n-1)ni}. \quad (3)$$

Принимая нормальное распределение вертикальных ошибок доверительные интервалы заданной надежности могут выражаться в виде $RMSEv\pm Zi(Sv)$.

В этом случае формула для 95% доверительного интервала принимает вид

$$RMSEv\pm1,96(Sv). \quad (4)$$

Если $RMSEv$будет равно нулю, то возможная ошибка с 95% вероятностью будет равна $\pm1,96(Sv)$. При 90% доверительном интервале она будет равна $\pm1,645(Sv)$

Полученные цифровые модели бассейнов рек, впадающих в озеро Иссык-Куль, имеют очень большое количество бассейнов больших и малых рек, также засыхающих русел, что требует дальнейшего выделения и их уточнения (Рисунок19).

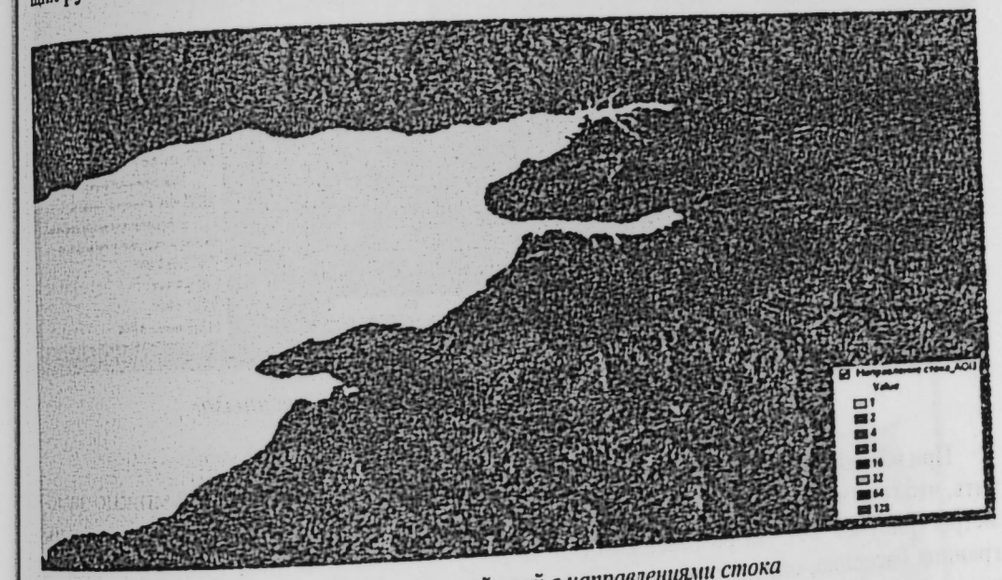


Рис. 19. Растровый слой с направлениями стока

Определение бассейнов рек котловины озера Иссык-Куль выполнено с использованием инструментов анализа и операций наложения векторных слоев бассейнов рек с имеющимся векторным слоем озера. В результате слияния границ водосборов рек в котловине озера получены векторные слои с оцифрованными границами водосбора озера Иссык-Куль для каждой цифровой модели рельефа(Рисунок.20).

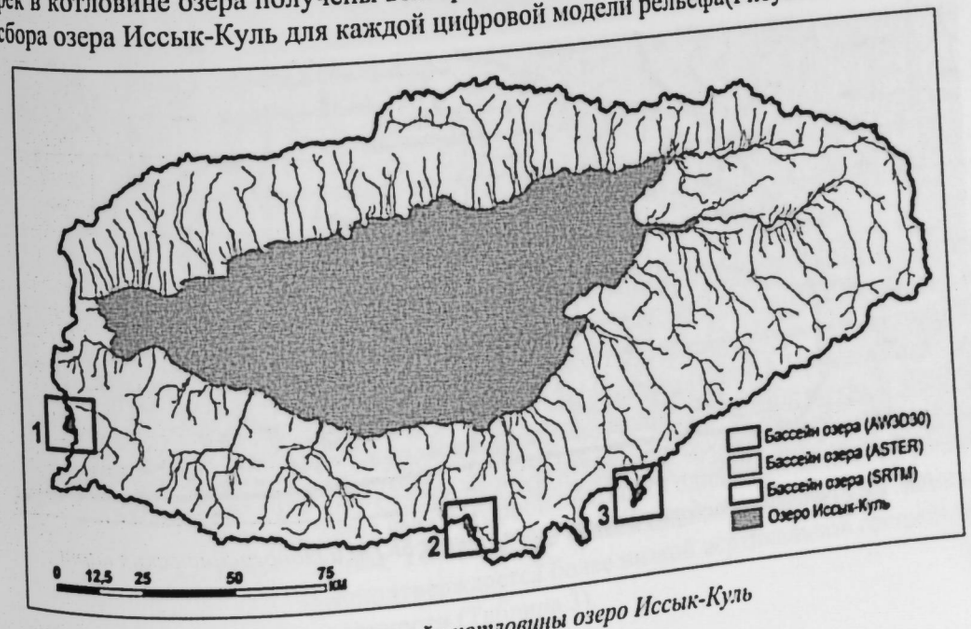


Рис. 20. Бассейн котловины озеро Иссык-Куль

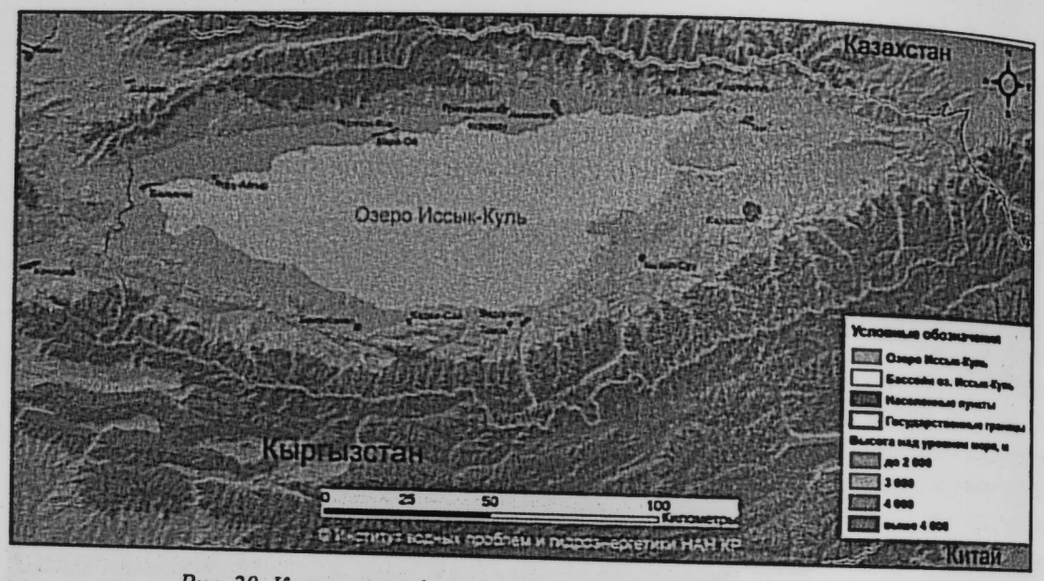


Рис. 20. Карта рельефа района исследований с уточнёнными границами водосбора озера Иссык-Куль

При визуальном анализе имеющихся картографических материалов можно заметить, что горизонтальная точность границ водосборов рек может отличаться на километры (рисунок 20). Их разница заметна на рисунке, где зелёным цветом показана граница бассейна, определённая на основе данных SRTM, а синим цветом показана используемая граница бассейна на основе топографических карт.

При проверке качества новой цифровой модели бассейнов рек с применением топографических карт и спутниковых снимков сверхвысокого разрешения была выявлена ошибка в западной части оцифрованной границы бассейна озера Иссык-Куль (Рисунки 21, 22, 23).

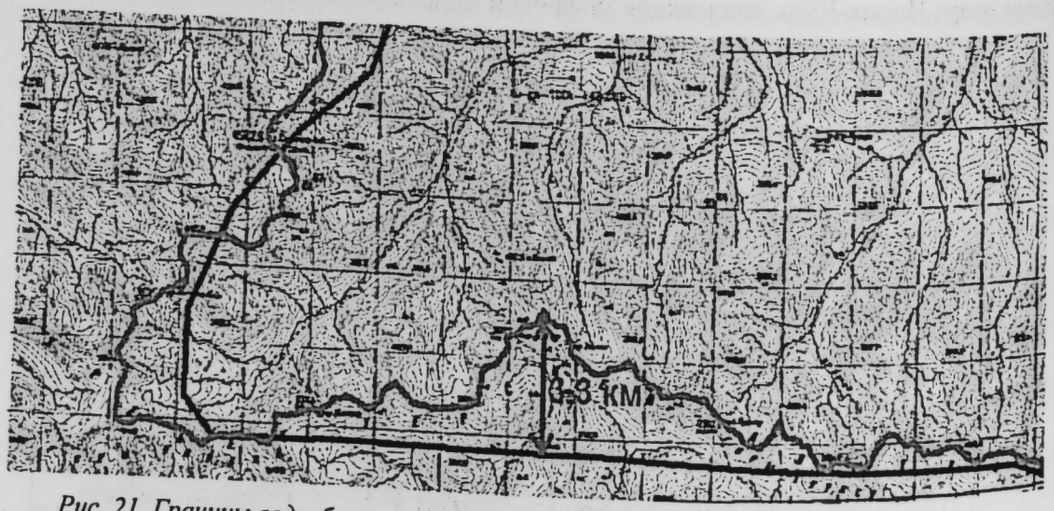


Рис. 21. Границы водосбора реки на основе данных SRTM и топографических карт

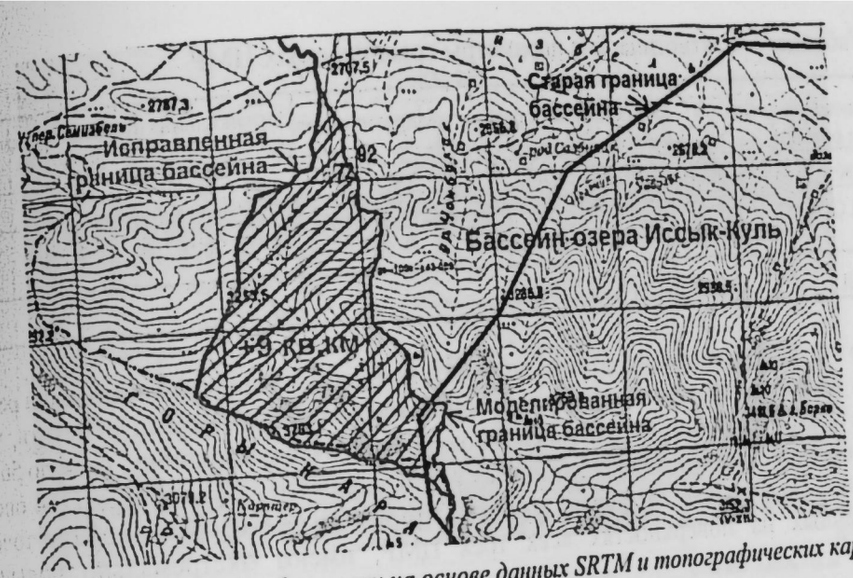


Рис. 22. Границы водосбора реки на основе данных SRTM и топографических карт

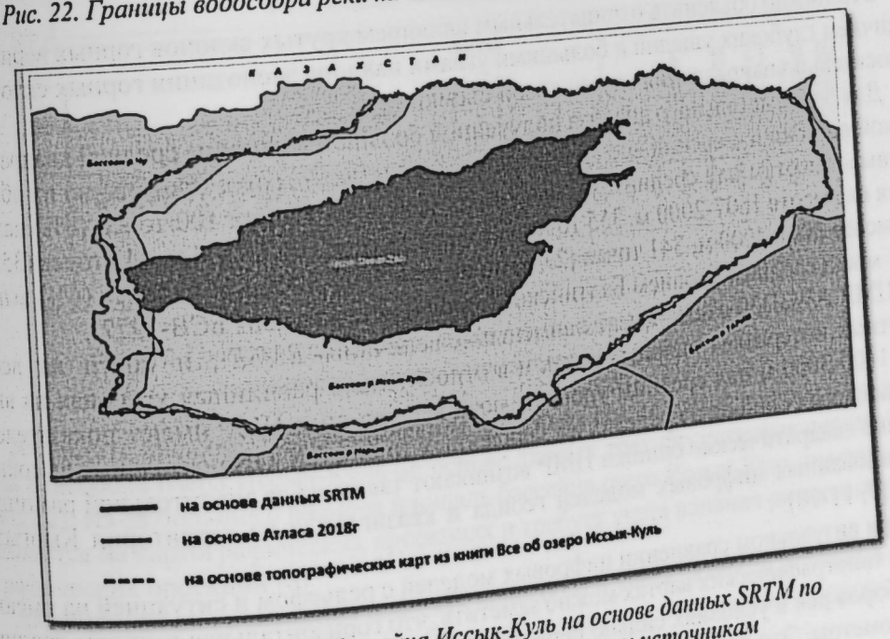


Рис. 23. Границы бассейна Иссык-Куль на основе данных SRTM по спутниковому снимку 2019 г и по другим источникам

Для оценки качества полученных цифровых моделей рельефа были определены высоты сравниваемых поверхностей в 1284 опорных точках для их сравнения с отметками этих точек на топографических картах. Восходящие линии тренда рис.24 на графиках показывают, что средняя точность использованных ЦМР ухудшается с возрастанием высоты точек над уровнем моря (Рисунок 21). Большой разброс высот некоторых опорных точек на разных ЦМР показывает, что крутые склоны, ущелья и сложная экспозиция склонов высокогорной местности одинаково влияют на точность данных спутниковых систем. Тем не менее относительная точность ЦМР на основе AW3D30 выше, что такжеподтверждается более низкой вертикальной средней квадратической ошибкой поверхности (Таблица 3).

Таблица. 3. Статистические параметры сравниваемых ЦМР

Наименования цифровой модели рельефа	Вертикальная средняя квадратическая ошибка - $RMSE_v$,м	Вертикальная арифметическая средняя ошибка - $\bar{e}_v$, м
AW3D30	56,33	33,43
ASTER GDEM V003	58,07	36,15
SRTMGL1	61,57	39,28

По статистическим показателям точности полученных цифровых моделей рельефа на основе данных дистанционного зондирования Земли можно отметить, что ЦМР AW3D30 имеет минимальную среднюю квадратическую ошибку, равную 56,33 м и стандартное отклонение вертикальных ошибок, равное 52 м для всех 1284 опорных точек. На (Рисунке 24) можно заметить, что высоты некоторых опорных точек, вычисленных на поверхностях всех трех ЦМР, имеют экстремально большие ошибки.

Это можно объяснить отрицательным влиянием крутых склонов горных вершин, наличием глубоких ущелий и большими углами наклона экспозиции горных склонов относительно направления спутниковой съемки.

Для более детального анализа полученной большой величины средней квадратической ошибки измерений все 1284 опорные точки были сгруппированы по их абсолютным высотам над средним уровнем моря (Табл. 2). Из них 100 точек (8%) находятся на высоте 1607-2000 м, 355 точек (28%) на высоте 2001-3000 м, 443 точек (35%) на высоте 3001-4000 м, 341 точка (27%) на высоте 4001-5000 м и 46 точек (4%) выше 5001 м над средним уровнем Балтийского моря (система высот БСВ-1977).

ЦМР AW3D30 также имеет наименьшие величины $RMSE$, и $\bar{}$почти на всех высотных интервалах опорных точек и в относительно равнинных условиях на высоте 1600-3000 м над средним уровнем моря все три вида ЦМР имеют показателей вертикальных ошибок в пределах их заявленных точностей. Относительные высокие средние квадратические ошибки ЦМР возникают также из-за значительной разницы использованных цифровых моделей геоида и квазигеоида на территории Кыргызстана [7, 11-18].

При визуальном сравнении цифровых моделей с рельефом и ситуацией на имеющихся топографических картах можно заметить, что горизонтальная точность границ водосборов рек в условиях сильно пересеченных горных условиях может отличаться на километры. Это разница заметна на рисунке 25, где разными цветами на топографических картах показаны участки с наиболее отличающимися границами бассейна озера, определённые на основе спутниковых данных.

Участок 1 находится на пересеченной горной местности и граница бассейна на основе снимка SRTM пересекает речку в отличие от других ЦМР. На участке 2 граница бассейна на основе данных AW3D30 пересекает поверхность ледникового озера из-за сложного горного рельефа. А на участке 3 граница бассейна на основе снимка ASTER также проходит на поверхности водоема. При уточнении границы бассейна озера на основе данных AW3D30 все недостоверные участки границы далее были исправлены на основе очертаний бассейна, определённых по другим ЦМР и по топографическим картам.

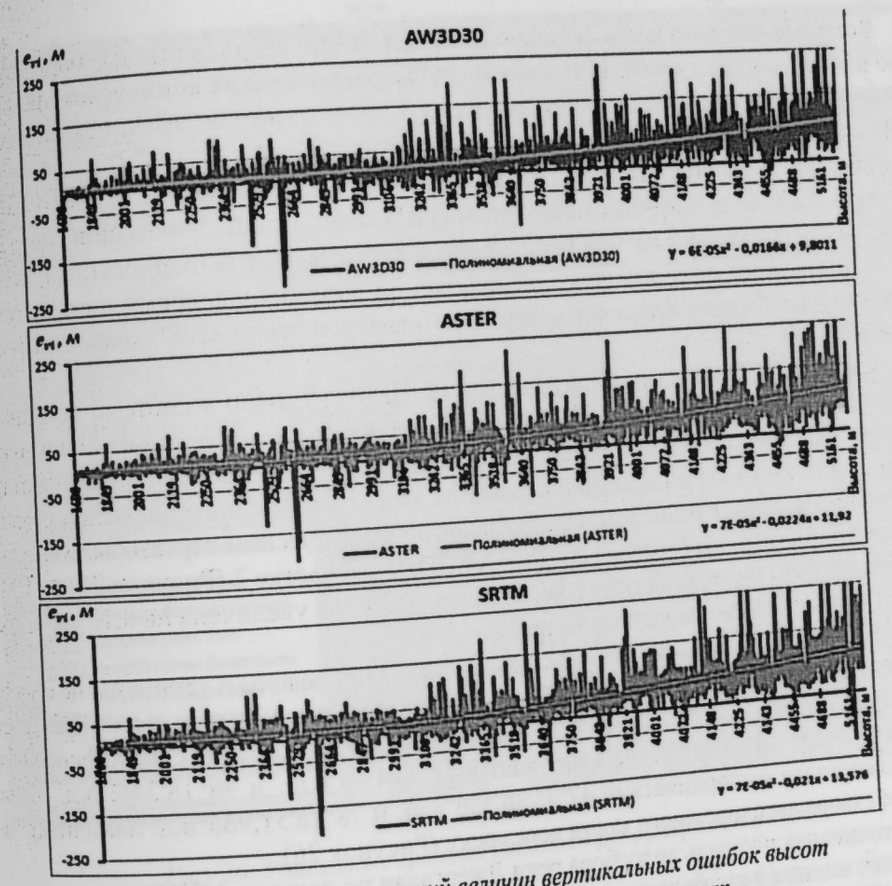


Рис. 24. Графики отклонений величин вертикальных ошибок высот сравниваемых поверхностей в опорных точках

результате цифрового моделирования бассейнов рек получена и рассчитана площадь водосбора озера Иссык-Куль на основе данных трех спутниковых систем (Рисунок 22). Из-за большого размера площадь бассейна озера Иссык-Куль значительно искажается на картографических проекциях и требует учета влияния различный картографических проекций [6].

Для уменьшения искажения площади водосбора и учета разности исходных проекций пространственных данных она была рассчитана с использованием четырех основных картографических проекций (Таблица. 4).

Таблица 4. Площадь бассейна озера Иссык-Куль в разных картографических проекциях

Обозначения картографических проекций	Площадь бассейна озера по разным ЦМР, кв. км		
	AW3D30	ASTER GDEM V003	SRTMGL1
WGS_1984_UTM_Zone_44N	21951,90	21954,07	21942,55
Pulkovo_1942_GK_Zone_14	21970,22	21972,39	21960,86
Kyrg-06_TM_Zone_4	21925,45	21927,61	21916,12
Asia_North_Albers_Equal_Area_Conic	21923,13	21925,29	21913,79

Все картографические проекции моделируют поверхность Земли на горизонтальную плоскость с искажениями. В данном случае равновеликая коническая проекция Альберса дает площадь бассейна озера Иссык-Куль с минимальными искажениями. ЦМР на основе AW3D30 и ASTER GDEM V3 отличаются на 2-3 км^2 при всех картографических проекциях. ЦМР SRTMGL1 имеет разницу в площадях от 9-10 км^2 во всех проекциях по сравнению с поверхностью AW3D30. Площади бассейна озера Иссык-Куль, определенные на всех ЦМР в разных картографических проекциях, значительно отличаются от ее величины, используемой в настоящее время в статистических и научно-исследовательских материалах и которая равна 22080 квадратным километрам [10].

Площадь бассейна озера, определенная по ЦМР AW3D30 в системе координат 1942 года (Pulkovo_1942_GK_Zone_14), на 180 км^2 (0,5%) меньше от официально используемой величины и в некоторых местах старые и новые границы бассейна отличаются до 16 км на горизонтальной плоскости. После визуального анализа и сравнения границ бассейна с рельефом местности по топографическим картам было внесено исправление в границы бассейна по ЦМР AW3D30 на участке 2 (Рисунок 25) по ЦМР ASTER GDEM V003 и, следовательно, площадь бассейна увеличена на 8,13 км^2 в государственной системе координат Kyrg-06.

Границы бассейнов рек Тюп и Джергалан были определены и уточнены на основе модели водосбора озера Иссык-Куль. Были определены точки устьев двух рек и далее были рассчитаны бассейн каждой реки. Устье реки Тюп находится северо-восточнее с.Тюп и имеет географические координаты 42°44'45,5"с.ш. и 78°18'24,2"в.д. Устье реки Джергалан с координатами 42°35'30,356"с.ш. и 78°18'51,965"в.д. находится западнее створа автодорожного моста через реку (Рисунок 26).

Уточненная площадь водосбора реки Джергалан по данным AW3D30 составляет 2139 км^2, что на 69 км^2 больше от используемой в настоящее время площади, равной 2070 км^2 (+3,3%).

Площадь водосбора реки Тюп составляет 1207 км^2 что больше на 27 км^2 больше от используемой в настоящее время площади, равной 1180 км^2 (+1,1%).

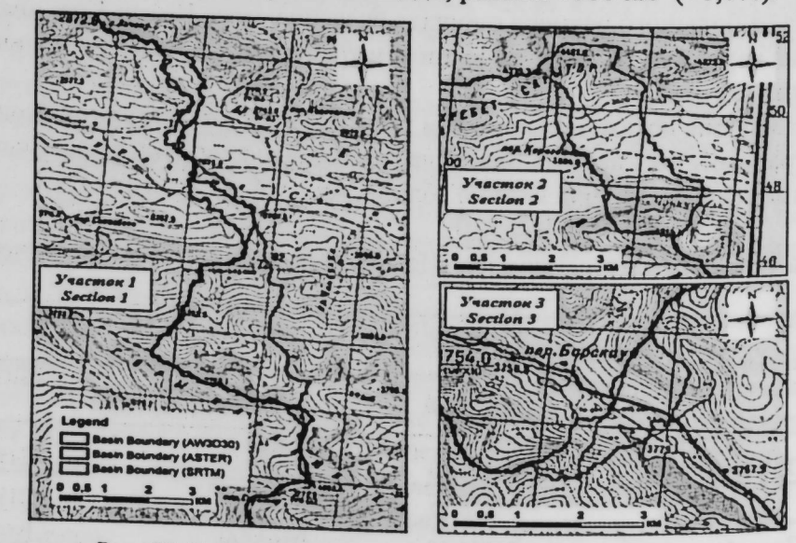


Рис. 25. Границы бассейна озера на основе данных ДЗЗ и топографических карт масштаба М1:100 000

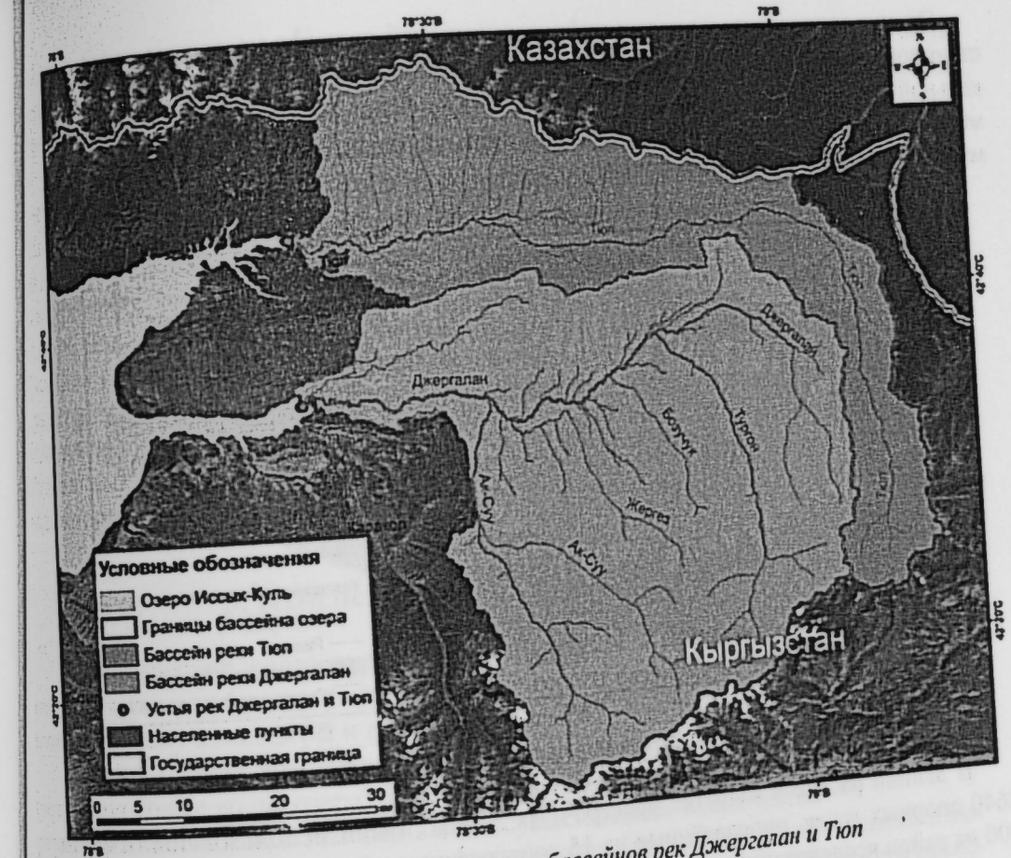


Рис. 26. Уточенные границы бассейнов рек Джергалан и Тюп

Результаты проведенных исследований показали, что все три модели имеют относительно одинаковые показатели точности в горизонтальной плоскости. В вертикальной плоскости в равнинных условиях они обеспечивают их заявленные точности. В сильно пресечённых условиях горных регионов они имеют большие ошибки в вертикальном направлении из-за крутых склонов, ущелий и сложной экспозиции горной местности, влияющих на качество наклонной съемки со спутников. В данной исследовательской работе не были учтены разности поверхностей разных исходных эллипсоидов и моделей геоида, а также влияние растительности на точность цифровых моделей. В дальнейших исследованиях требуется определить высот опорных точек на основе единой модели геоида для более точного анализа цифровых моделей рельефа на основе данных разных систем дистанционного зондирования Земли.

Были выбраны 118 рек котловины с площадью бассейнов более 14 км^2 (Рисунок 27). Моделирование границ бассейнов рек района исследований выполнено с использованием инструмента «Бассейн» и речной сети с использованием инструментов «Суммарный сток» модуля «Гидрология» и «Калькулятор растра» программного комплекса ArcGIS. При моделировании суммарного стока не были учтены грунтовые условия, ледниковое питание и прочие параметры для точного моделирования стока, но тем не менее такая модель позволяет оцифровать речную сеть с достаточно высокой точностью для дальнейшего пространственного анализа.

Оценка точности полученных цифровых моделей рельефа на основе данных дистанционного зондирования производилась, в основном, путём вычисления вертикальной средней квадратической ошибки - $RMSE_v$ (Root Mean Square Error) и арифметической средней абсолютных величин вертикальных ошибок высот сравниваемых поверхностей в опорных точках.

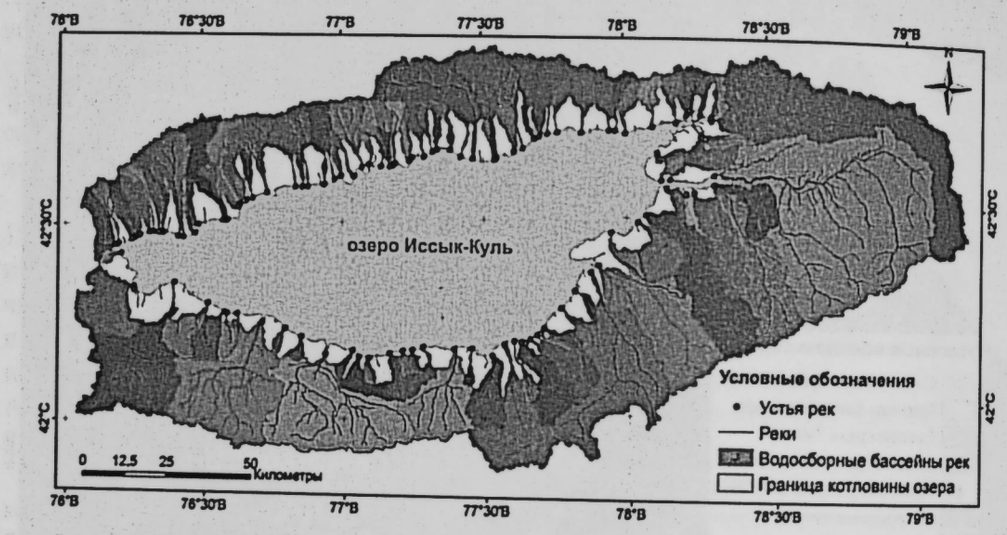


Рис. 27. Водосборные бассейны рек Иссык-Кульской котловины

В данной работе в качестве проверочных данных были использованы отметки 2640 опорных точек, определённые на 15 топографических картах масштаба 1: 100 000 на район исследований.

В результате моделирования и расчетов были определены водосборные площади 118 рек Иссык-Кульской котловины. Предварительны анализ показывает, что имеются значительные разницы в используемых площадей водосбор в их площадей, на основа открытых спутниковых данных. Две реки из них имеют площади водосбора более 1 тыс. км^2 р. Джергалан и р. Тюп, 30 рек имеют водосборных площадей более 100 км2, остальные 103 рек имеют водосборных площадей от 14 до 100 км^2.

В настоящее время выполняется определение и анализ точности границ водосборных бассейнов рек. Определение уточненных площадей бассейнов будет выполнено с использованием и сравнением разных картографических проекций.

Выводы:

Проведенное исследование показывает, что современные технологии дистанционного зондирования Земли и геоинформационные системы позволяют определять границы бассейнов рек и озер с точностью до десятков метров. Это дает огромную возможность научно-практическим исследованиям в области гидрологии, в управлении водными ресурсами и изучении окружающей среды.

В результате сравнительного анализа результатов моделирования на основе разных открытых данных спутниковых систем сегодня можно отметить, что ЦМР на основе AW3D30 является наиболее подходящей для гидрологических исследований и уточнения площадей и границ бассейнов рек и озер в условиях высокогорья на территории Кыргызстана. После внесенных исправлений и уточнения площадь бассейны

озера на основе открытых данных AW3D30 составляет 21934 км^2 и она может быть использована в дальнейшей научно-практической деятельности взамен используемой сегодня площади бассейна, равной 22080 км^2.

Результаты исследовательской работы позволяют делать вывод о необходимости уточнения границ и бассейнов рек на территории Кыргызстана на основе данных дистанционного зондирования Земли. Требуется комплекс исследований, основанных на применении открытых и коммерческих данных различных систем дистанционного зондирования Земли для официального изменения границ и площадей речных бассейнов. Для дальнейших исследований рекомендуется уточнение площади и границ бассейна озера Иссык-Куль на основе данных ДЗЗ с учетом разниц используемых гравитационных моделей Земли и влияния растительности. Использование большого количества опорных точек с высотными отметками, определенными с применением Глобальных навигационных спутниковых систем, в дальнейшем повысит точности и надежности цифровых моделей рельефа на основе открытых данных ДЗЗ.

3. Изменение акватории оз. Иссык-Куль

Климатические изменения, которые произошли за последние десятилетия, ускорившийся темп урбанизации и технологического развития приводят к изменениям всех компонент атмосферы и поверхности земли.

Одной из таких компонент являются поверхностные водные объекты планеты (реки, грунтовые воды, озера). Вода является важным элементом для существования различных экосистем, в том числе и для существования человечества.

Как отсутствие, так и избыток воды приводят к чрезвычайным изменениям в любых отраслях народного хозяйства. Поэтому обнаружение водных объектов и последующий контроль являются важным процессом в научных и практических исследованиях.

Фактически в настоящее время отсутствует мониторинг водных объектов, который показывает изменение числа водных объектов и их площади, береговой линии и их типа. Развитие технологий дистанционного зондирования позволяет проводить регулярные многоспектральные измерения земной поверхности.

Бассейн озера Иссык-Куль представляет собой обширную замкнутую котловину, центральную часть которой занимает незамерзающее озеро Иссык-Куль. С севера котловина ограничена хребтом Кунгей Ала-Тоо, с юга - хребтом Тескей Ала-Тоо. На востоке и западе эти хребты соединяются соответственно горными перемычками: Чаар-Джон и Ала-Бель, Кара-Коо и Кызыл - Омпол.

Площадь бассейна - 22,1 тыс.км^2, площадь водного зеркала - 6,2 тыс.км^2. С запада на восток территория бассейна простирается на 252 км, из которых 350 км занимают участки с песчаными пляжами, общей площадью 9,5 млн.м^2. Площадь предгорной равнины -3092 км^2, среднегорье и высокогорье занимают территорию равную 12752 км^2. Длина озера Иссык-Куль -178 км, наибольшее ширина -60,1 км, максимальная глубина 668 м, при средней глубине - 278 м. Абсолютный урез воды - 1606,5м.

Народно хозяйственный ущерб, вызываемый снижением уровня озера, находится в прямой зависимости от экологического состояние озера, представляющего сложное взаимодействие гидрологических, метеорологических, водохозяйственных и социально - экономических процессов, имеющих к тому же вероятностный характер.

Таким образом, уровень озера выступает как интегрирующий показатель результата взаимодействия вышеуказанных процессов. Народнохозяйственный ущерб, рассчитанный на его основе и с учетом динамичности экономических категорий. В сельском хозяйстве негативные последствия снижения уровня озера скажутся прежде всего на вынужденном ограничении развития орошаемого земледелия на месте, что в свою очередь вызовет необходимость освоения новых массивов земель. [18]

Основную роль в питании рек составляют ледники и сезонный снег, дожди имеют второстепенное значение. Все крупные реки берут начало с ледников, общая площадь которых достигает 650 км^2, в них сосредоточены около 48 км^3 пресной воды. Значительная часть воды (80%) поступает в котловину озера весной и летом, когда происходит таяние снегов и ледников. [18]

Математические методы обработки данных дистанционного зондирования позволяют получать информацию о пространственно временных параметрах поверхности Земли, в том числе и водных объектов. Одним из таких параметров является водная маска, позволяющая на спутниковом изображении определить пиксели, в которых находятся водные объекты.

Целью данной работы является разработка методики дешифрирования многоспектральных изображений спутникового прибора Landsat-8 30м/пиксель и Sentinel-2A 10м/пиксель (за 2017 по 2020 годов) для определения водных объектов и построения водных масок, с помощью программного обеспечения ГИС- технологий в использовании водного индекса NDWI.

Нормализованный разностный водный индекс (NDWI) чувствителен к изменениям содержания жидкой воды в растительном покрове. Он получен из ближнего (NIR) -диапазона и второго -диапазона, (SWIR) ≈1,24 мкм, Диапазон значений от -1,0 до 1,0. [27]

Эти композиты создаются из всех сцен в каждом 32-дневном периоде, начиная с первого дня года и продолжаясь до 352-го дня года. Последний состав года, начиная с 353-го дня, будет перекрывать первый состав следующего года на 20 дней. Все изображения за каждый 32-дневный период включаются в составной объект, причем в качестве составного значения используется последний пиксель.

Сотрудниками лаборатории Информационного обеспечения выполнена работа по изменение площади акватории оз. Иссык-Куль посредством спутниковых снимков за последние 20 лет с 1998-2020 гг.

3.1. Определения водного индекса NDWI на базе программного обеспечения в ArcGIS

Результаты расчетов по определению индекса NDWI посредством которого определяется водная акватория с использованием Raster calculation, необходимо использовать следующую комбинацию (формула 4) [28-29]:

Формула определения индекса:

$$\text{FLOAT (b3 – b5) / Float (b3 + b5)} \qquad (4)$$

Графические модели пространственных данных представлены на рисунке 28 . В свойствах слоя, во вкладке Arc Toolbox (Map algebra) задается тип отображения классификация (classified).

Проклассифицировать полученное изображение на 3 класса в диапазонах

- от 0.2 до 1 и от 0 до -0,2 (вода),
- от -1 до -0,317 и от -0,317 до -0,2 (остальные объекты),
- от -0,2 до 0 (растительность).

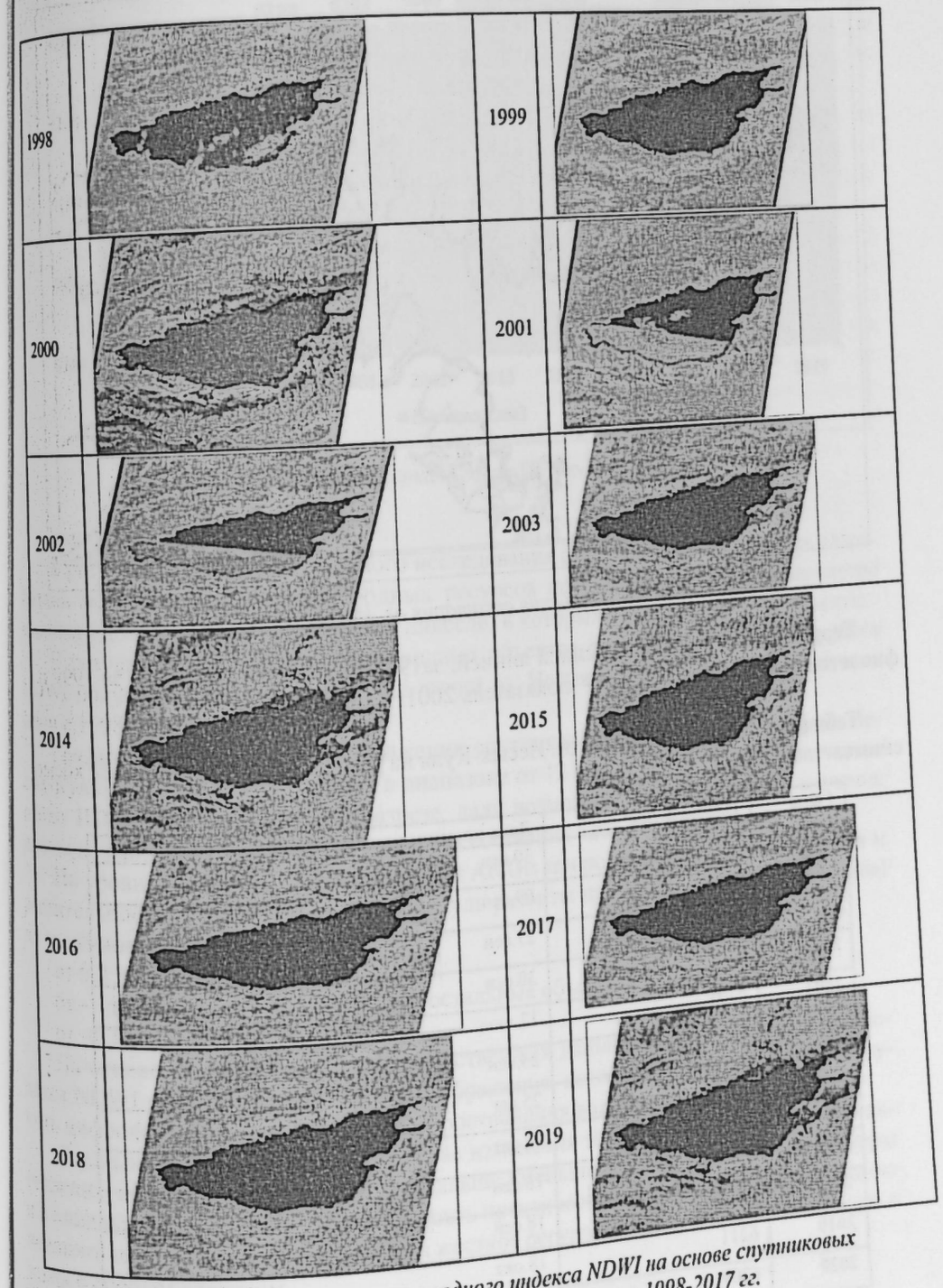


Рис. 28. Результаты расчета водного индекса NDWI на основе спутниковых снимков полученных за последние 20 лет с 1998-2017 гг.

Пример изменения береговой линии оз. Иссык-Куль на основе полученных снимков приведен на рисунке 29, а площади – в таблице 5.

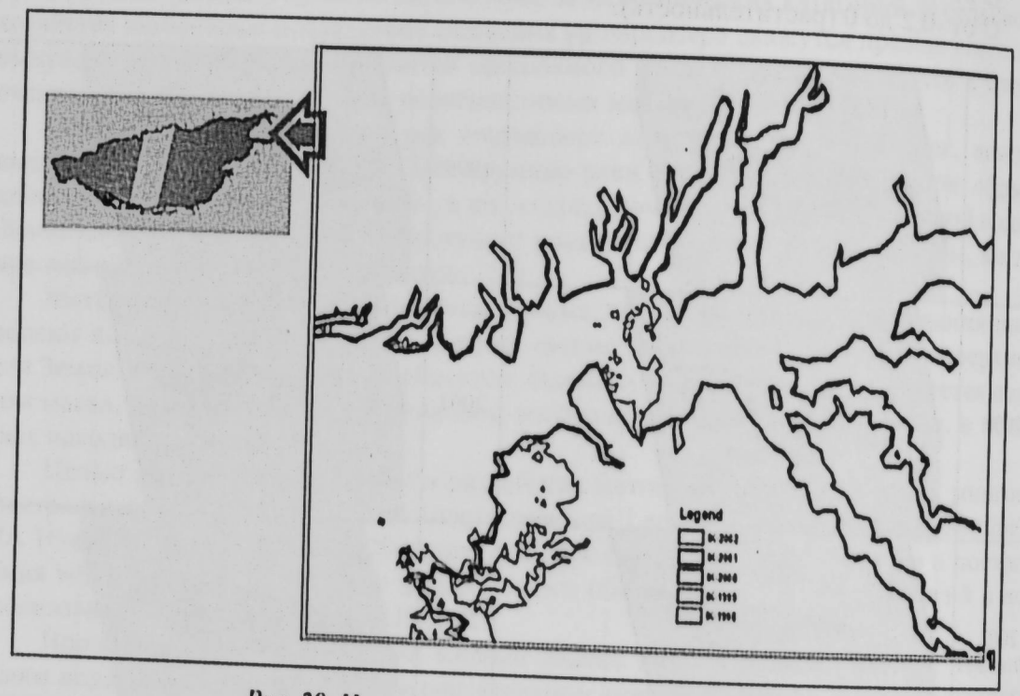


Рис. 29. Изменения акватория оз. Иссык-Куль

Территория, обозначенная синей линией, за1998 г., зеленой линией - за 1999 г., фиолетовой - за 2000 г., черной - показатель 2001г., красной - за 2002 г.

Таблица 5. Площади зеркало оз. Иссык-Куля на разные годы полученные с космо снимка

Годы	Площадь /км²	Дата космического снимка
1998	6125	30.сен
1999	6191	09.сен
2000	6199	27.сен
2001	6202	30.сен
2002	6205	12.июл
2013	6225	23.сен
2014	6233	25.авг
2015	6216	12.авг
2016	6222	15.сен
2017	6225	18.сен
2019	6211	18.окт
2020	6209	29.сен



Рис. 30. График площади зеркало озеро Иссык-Куль на разные годы

Выводы:

В результате инструментального исследования природных ресурсов была разработана методика определения водных ресурсов посредством входного параметра «водная маска», которая определяет пиксели, в которых находятся водные объекты.

В результате дешифрирования водных объектов посредством водного индекса NDWI получены границы береговой линии оз. Иссык-Куль, изменяющиеся во времени с 1998-2002 гг.

Графические растровые изображении спутниковых снимков (Landsat-8) оз. Иссык-Куль за 12 лет (1998-2020 гг) в диапазоне от 12 июля – 18 октября в количестве около 100 дней в многолетнем разрезе, дали возможность найти среднее значение площади зеркала оз. Иссык-Куль, которая составила 6205,2 км².

На уровне программного обеспечения ArcGis природные ресурсы (вода, земля и растительность) котловины оз. Иссык-Куль разбиты на классы (классифицированы) по градациям

от 0.2 до 1 и от 0 до -0,2 (вода),

от -1 до -0,317 и от -0,317 до -0,2 (остальные объекты),

от -0,2 до 0 (растительность).

На основе классификации пространственных данных посредством водного индекса NDWI получены графические изображения, которые дали возможность получить цифровые данные о площади распространения водного объекта.

В дальнейшей перспективе, в случае изменения температуры и глобального потепления, не исключено, что будут и дальше уменьшаться или увеличиться размеры и площадь акватории, чему противостоять практически невозможно. Однако, можно повлиять на поведение человека через жесткое регулирование установленных норм в зонах с особым статусом.

4. Изменение площади ледника Лысый во времени

В ходе научно-исследовательской работы решались задачи по обработке данных дистанционного зондирования: Дистанционное зондирование земли позволяет получать достоверные информации об объектах земной поверхности и о природных процессах атмосферы, гидросферы и литосферы.

Проведению мониторинговых наблюдений предшествует предварительный этап, он включает:

- выбор мультиспектральных изображений, максимально удовлетворяющего задачам проекта, связанных с оценкой изменений;
- импорт изображений в формат программ обработки данных ДЗ (ERDAS Imagine, ENVI);
- выполнение различных видов коррекции (атмосферной, яркостной и т.д.);
- географическую коррекцию снимков (привязка мультиспектрального изображения в систему координат WGS 84);
- коррекцию снимка с имеющимися топографическими картами и материалами аэрофотосъемки, трансформированными в ГИС;
- оцифровка гляциологической информации (MapInfo, ArcGIS);
- создание цифровой модели рельефа (ЦМР);
- экспорт полученных карт в ГИС.

Объекты земной поверхности существуют не только в пространстве, но и во времени, т.е. постоянно изменяются. Масштабы происходящих изменений различны: суточные, сезонные, многолетние, вековые.

Со временем меняются физиономические свойства объектов, их внешний облик, а значит, в момент съемки каждый из географических объектов фиксируется в некотором определенном состоянии [21-23].

От того, насколько хорошо выражены в этом состоянии важные для исследования характеристики, зависят результаты дешифрирования.

Необходимая для исследований информация (предметно содержательная и геометрическая) извлекается из снимков двумя основными методами, это дешифрирование и фотограмметрические измерения.

Дешифрирование дает ответ на основной вопрос – что изображено на снимке, позволяет получать предметную, тематическую (в основном качественную) информацию об изучаемом объекте или процессе, его связях с окружающими объектами. В визуальном дешифрировании обычно выделяют чтение снимков и их интерпретацию (толкование).

Умение читать снимки базируется на знании дешифровочных признаков объектов и изобразительных свойств снимков. Глубина же интерпретационного дешифрирования существенно зависит от уровня подготовки исполнителя.

Чем лучше знает дешифровщик предмет своего исследования, тем полнее и достовернее информация, извлекаемая из снимка.

Фотограмметрическая обработка (измерения) призвана дать ответ на вопрос – где находится изучаемый объект и каковы его геометрические характеристики: размер, форма.

Для этого выполняется трансформирование снимков, их изображение приводится в определенную картографическую проекцию. Это позволяет определять по снимкам положение объектов и их изменение во времени.

Для получения истинных данных о ледниковых системах очень важен сезон съемки. Наиболее эффективна съемка, проведенная в конце лета (август - начало сентября), так как в это время практически весь снежный покров (кроме предвершинных высоких участков) успевает растаять, открывая собственно ледяную составляющую ледника.

Этот факт, несомненно, вызывает трудности выбора космических снимков. Проблемой становится и отбор снимков с наименьшим количеством облачного покрова. По характеристикам, предъявляемым к космоснимкам, рабочими считаются снимки с облачным покровом до 25 %.

К сожалению, чаще всего облачный покров распространен над высокими частями гор и закрывают ледниковые системы. В этом отношении космические снимки Landsat ETM являются наиболее подходящими для дешифрирования, поскольку путем выбора каналов можно избавиться от «засорения» снимка облаками. Пример космических снимков различного разрешения представлен на рисунке 18 (космические снимки Landsat 7 ETM+ WRS-2 с наземным разрешением 30 м, и GOOGLEEARTH с наземным разрешением 1 м и IRS (LISS) с наземным разрешением 30 м (Рисунок 31)



Рис. 31. Космические снимки с различным разрешением: Landsat 7 ETM+ WRS-2 (А); IRS (LISS) (Б); GoogleEarth (В) (озеро Ала-Коль басс. р.Каракол)

Спутник Sentinel-2A предназначен для передачи данных дистанционного зондирования суши. Миссия Sentinel-2A является результатом тесного сотрудничества между Европейским космическим агентством (ESA), Европейской комиссией, промышленностью, поставщиками услуг и пользователями данных. Миссия была разработана для улучшения наблюдений за растительностью, земным покровом и окружающей средой.

Сбор данных доступен на Earth Explorer, где получены данные Sentinel-2 с разрешением 10м/пиксель (таблица 6) для обработки снимков с помощью стандартизованного индекса NDSI.

Таблица 6. Спутниковые снимки для обработки с помощью NDSI

Наименование спутниковых данных	Дата полученных данных
L1C_T43TGG_A011728_20170920T053854	20.09.2017
L1C_T44TKM_A007753_20180831T054522	31.08.2018
L1C_T44TKM_A012901_20190826T053910	26.08.2019
L1C_T44TKM_A025456_20200507T054503	19.10.2020

Стандартизованный индекс различий снежного покрова (NDSI) разработан для использования спутниковых данных (каналы 3 и 11 формула (5)) с целью идентификации снежного твердого покрова при игнорировании облачного покрова.

$$\text{Normalised Difference Snow Index } (NDSI) = \frac{Band\,3 - Band\,11}{Band\,3 + Band\,11} \quad (5)$$

Снежный покров нормализованного разностного индекса снега (NDSI) - это индекс, который связан с наличием льда в пикселе и является более точным описанием обнаружения снега (льда, ледника) по сравнению с частичным снежным покровом (FSC). Снег обычно имеет очень высокий коэффициент отражения в видимой области спектра (VIS) и очень низкий коэффициент отражения в коротковолновом инфракрасном диапазоне (SWIR) - характеристика, используемая для обнаружения снега путем различения снега и большинства типов облаков. Снежный покров обнаруживается с использованием отношения VIS и SWIR. А с индексом NDSI (5;6) разницы в коэффициентах отражения ((диапазон 3-диапазон 11) / (диапазон 3 + диапазон 11)) (формула 5). в спутниковом снимке Sentinel-2A, использовав пиксельные каналы Green - SWIR (формула 6) можем получить данные изменения площади ледников за период времени на поверхности суши. Пиксель с NDSI> 0,0 считается имеющим снег. Пиксель с NDSI <= 0.0 - это поверхность суши, свободная от снега (Riggs et al., 2016).

NDSI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR) (6),

где Green = значения пикселей из зеленого канала;

SWIR = значения пикселов из коротковолнового инфракрасного канала.

Векторизация объектов растрового изображения производился путем наложения их контуров в слоях.

Любая информация, которая определяет географическое положение и свойства объектов, является пространственной информацией. Без неё не мыслимы ни полнота описания объектов и систем материального мира, ни адекватное реагирование на чрезвычайные ситуации, будь то стихийные бедствия или вооружённые конфликты.

Географические положения и свойства объектов являются стержнем всякой геоинформационной технологии.

Для того, чтобы разработать конкретную геоинформационную технологию, необходимо компьютерное моделирование.

Нами смоделированы различного рода пространственные объекты, находящиеся в котловине оз. Иссык-Куль. Такая модель называется цифровой моделью местности, разработанной в среде современных геоинформационных систем (Рисунок 32).

Цифровой моделью местности (ЦММ) называют совокупность точек местности с известными трехмерными координатами и различными кодовыми обозначениями, предназначенную для аппроксимации местности с ее природными характеристиками, условиями и объектами.

Кодовые обозначения характеризуют связи между соответствующими точками ЦММ.

Общая ЦММ - это многослойная модель, которая в зависимости от назначения может быть представлена сочетанием частных цифровых моделей (слоев): рельефа, ситуационных особенностей, почвенно-грунтовых, гидрогеологических, инженерно-геологических, гидрометеорологических условий, технико-экономических показателей и других характеристик местности.

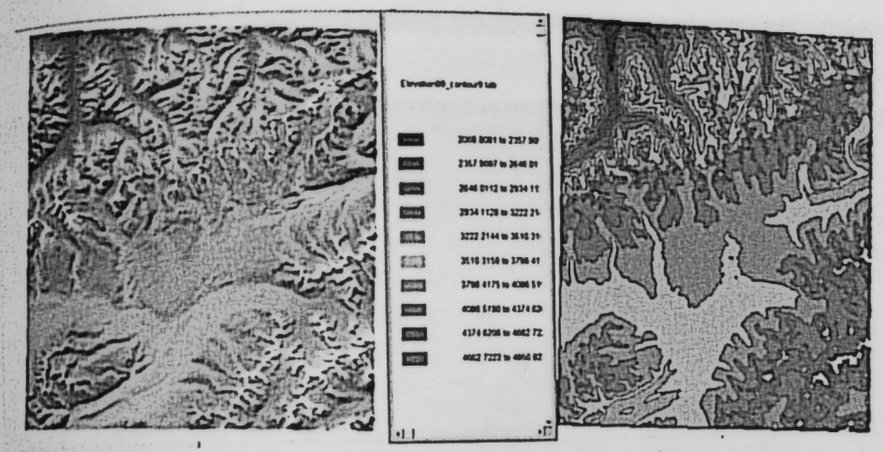


Рис. 32. 3D модель района исследований на основе снимков SRTM

Существуют три основных типа векторных объектов – точка, линия, полигон.

В соответствии с этой классификацией, в данном случае к типу точек отнесены отметки высот, низших и высших точек ледников; к типу линий – реки, линии изогипс, горные цепи; к типу полигонов – ледники, морены, каменные глетчеры, озера и др.

Каждый объект имеет свою уникальную геоинформацию, позволяющую провести последующий сравнительный анализ. Основное преимущество рассматриваемого метода – определение площадей и других показателей объектов с требуемой точностью.

Использование ГИС-программ позволяет получить на мониторе компьютера изображение каждого ледника в любом масштабе, что дает возможность более детального его изучения.

Примеры визуализации объектов высокогорий представлены на рисунках 33 и 34 (сенсоры ALOS за 16 августа 2006 г. и прорисовка контуров в ГИС программе MapInfo).



Рис. 33. Космический снимок ALOS с привязкой в программе MapInfo
1 – ледники; 2 – морены; 3 – каменные глетчеры; 4 – реки и водотоки; 5 – озера



Рис. 34. Фрагмент карты MapInfo, составленной на основе космоснимка ALOS
1 – ледники; 2 – морены; 3 – каменные глетчеры; 4 – реки и водотоки; 5 – озера

Векторизация объектов проводились вручную, поскольку попытки компьютерной оцифровки космических снимков не приводят к желаемому результату из-за многих объективных причин (качество снимков, сложная визуализационная структура снега, фирна, льда, сложный рельеф и как следствие, неравномерное освещение и т.д.).

К подобным выводам приходили многие исследователи, занимающиеся дешифрированием космической информации в условиях высокогорий.

Определение площадей ледников, моренных комплексов и других объектов ледниковых систем производится в ГИС программе.

Для качественной идентификации некоторых гляциологических объектов (в частности, морен) возникла необходимость в создании цифровой модели рельефа (ЦМР).

Она была создана с применением данных спутникового зондирования поверхности Земли (по радарным данным SRTM), и с высокой точностью переносится на космоснимки ГИС с трансформацией в WGS84.

В процессе тестирования радарных данных и переводе их из бинарного формата в формат MapInfo отмечается высокая степень совпадения радарных данных с орографическим слоем топографической основы.

В результате строятся изолинии и появляется возможность оценки топографических характеристик оледенения и качественной визуализации космических изображений с помощью инструментариев объема (3D моделирование).

В ходе научно-исследовательской работы решались задачи по обработке данных дистанционного зондирования.

А с индексом NDSI (6;7) разницы в коэффициентах отражения ((диапазон 3-диапазон 11) / (диапазон 3 + диапазон 11)) (формула 6) в спутниковом снимке Sentinel-2A использовав пиксельные каналы Green - SWIR (формула 7) можем получить данные изменения площади ледников за период времени на поверхности суши. Пиксель с NDSI> 0,0 считается имеющим снег. Пиксель с NDSI <= 0.0 - это поверхность суши, свободная от снега.

NDSI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR) (7)

где Green = значения пикселов из зеленого канала

SWIR = значения пикселов из коротковолнового инфракрасного канала, где полученные данные наглядно показаны в рисунке 35.

Полученные данные наглядно показаны на рисунке 35.

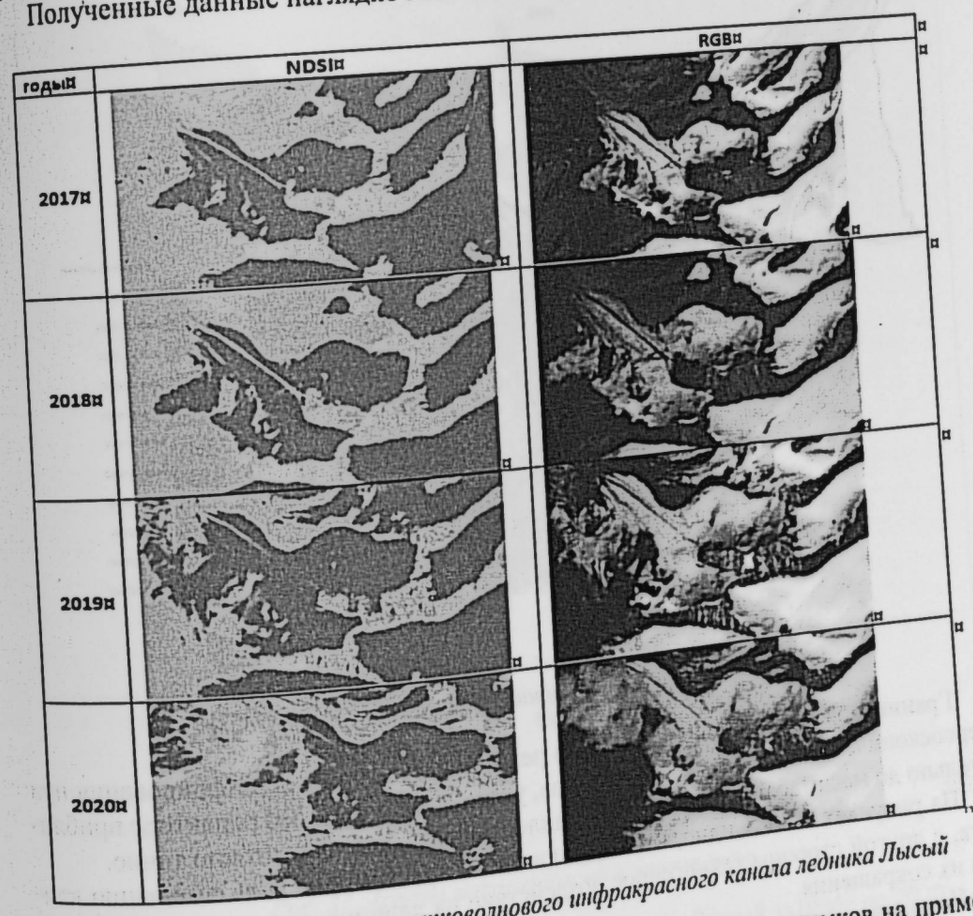


Рис. 35. Космоснимки из коротковолнового инфракрасного канала ледника Лысый

В процессе дешифрирования разновременых спутниковых снимков на примере территории границ ледника Лысый были определены изменения площади ареала ледника.

Для оценки определения изменения площади ледника Лысый использованы космические снимки LANDSAT (мультиспектральные многоканалные изображения с пространственным разрешением 15м, формат GeoTiff) за 1984 г., Sentinel-2A (пространственное разрешение 10 м, за 2017-2020гг ., а также PhotoSat Pixel Size DY=0,5м (пространственное разрешение 0,5 м,) за 2012-2016 гг.

Наблюдается заметное сокращение северо-западной части ледника Лысый, сокращение длилось на протяжении более 30 лет. Тенденция сокращения ледника имеет развивающийся характер. (рисунки 36, 37). Она увеличивается к центру ледника. Разным цветом площади ледника показано сокращение ледника в нижней части с 1984 по 2020 гг.

Графическое изображение ареалов ледника Лысый по результатам дешифрирования спутниковых снимков в разные годы представлено на рисунке 36.

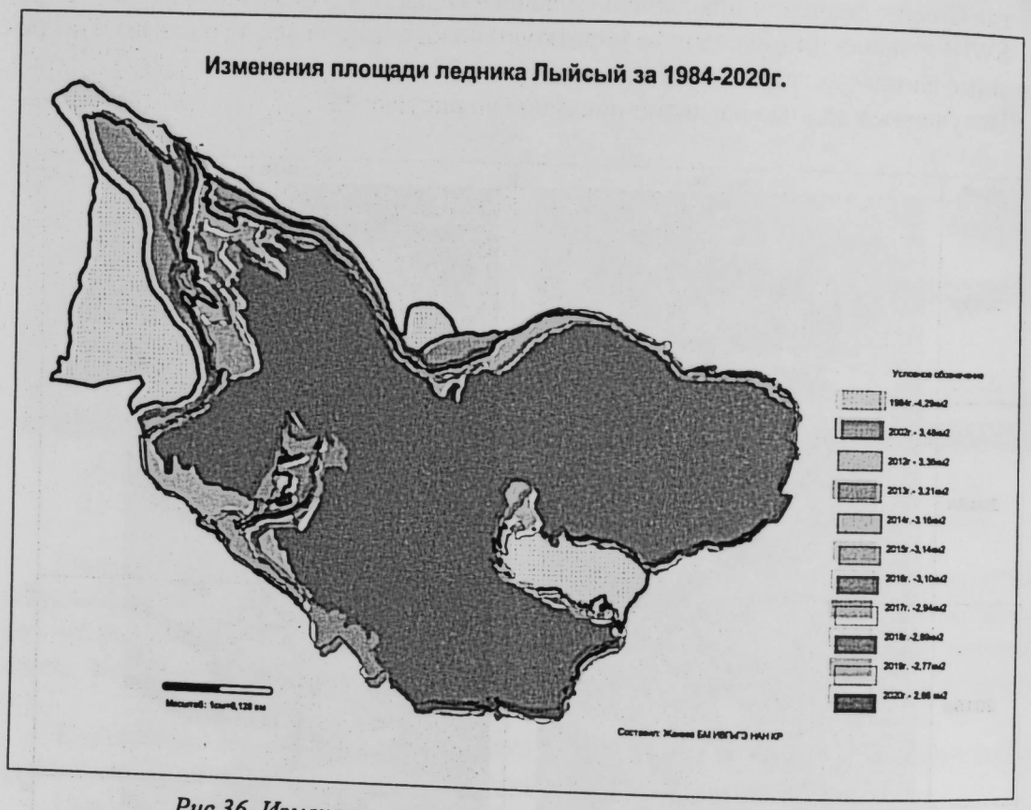


Рис.36. Изменения ареала ледника Лысый в различные годы

Границы оледенения определялись в режиме визуального дешифрирования при стереоскопическом рассмотрении снимков, увеличенных в стерео редакторе приблизительно до масштаба 1:5 000, что позволило изобразить их достаточно точно.

На рисунках 33-36 видно, что ледники очень чувствительны к изменению климата, с другой стороны техногенное воздействие на ледники также является причиной их сокращения.

Площадь сокращения ледника определялось на базе программного обеспечение MapInfo Professional и ArcGIS, в результате которого сделан анализ посредством векторизации площади сокращения. Результаты расчетов по отступанию ледника представлены в таблице 7.

Для наглядности на рисунке 38 графически показано изменения площади ледника за период 1984-2020г.

По результатам исследования ледников составлена карта схема отступание изменение фронтальной части ледника Лысый (рисунок 39).

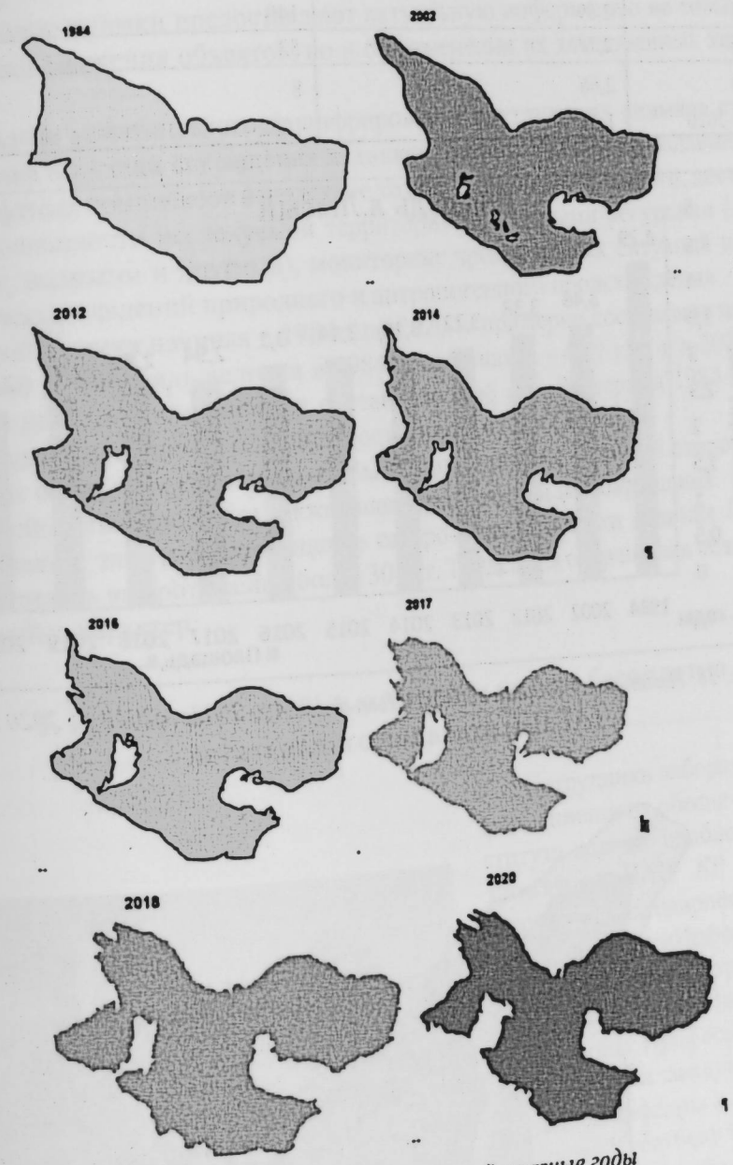


Рис. 37. Ареалы ледника Лысый в разные годы

Таблица 7. Линейное отступание и площадь ледника Лысый за1984г по 2020 г.

Годы	Площадь, км^2	Линейное отступание ср., м
1984	4,29	
2002	3,48	152
2012	3,38	330
2013	3,22	30
2014	3,16	10
2015	3,14	10
2016	3,10	30
2017	2,94	290

2018	2,89	140
2019	2,77	52
2020	2,66	8
1984-2020	1,63	1052



Рис. 38. Изменение площади ледника Лысый 1984 г. 2002г. с2012 по 2020 гг.

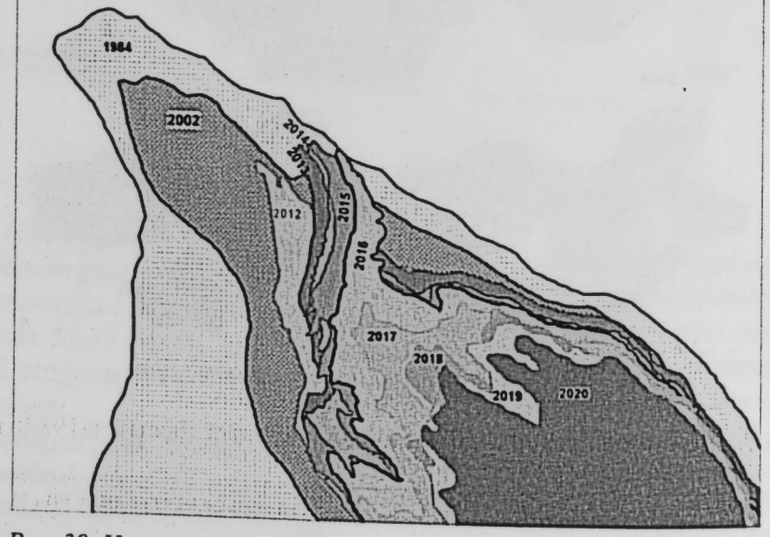


Рис. 39. Изменения фронтальной части ледника Лысый за период 1984г. 2002г. и 2012-2020 гг.

Изменения ледника Лысый к 2020 г. заметно отслеживается - язык ледников отступают (рисунок 34). Отступание языка начиная с 1984г по 2020 г примерно составляют на- **1060** м. Площадь ледника в 1984 г. составляла - 4,29 км^2, а в 2020 году по результатам данных космоснимков составляет 2,66 км^2, За период 1984-2020гг. для ледника Лысый уменьшение площади составило 1,67 км^2, т.е. (38 %).

Выводы:

Спутниковые снимки предоставляют актуальную информацию не только об изменении местоположения объектов, но и об изменении их качественных характеристик.

В результате тематического дешифрирования спутниковых снимков стала возможной оценка площади сокращения ледников, оценка степени деградации природных ландшафтных комплексов вследствие хозяйственной деятельности, достоверный анализ обеспеченности исследуемой территории природными ресурсами (лесными, почвенными, водными и другими), мониторинг чрезвычайных ситуаций и опасных катастрофических явлений природного и антропогенного происхождения

Отступание языка начиная с 1984г. по 2020 г. примерно составляют на леднике Лысый - **1060** м. Площадь ледника в 1984 г. составляла - 4,29 км^2, а в 2020 году по результатам данных космоснимков составляло 2,66 км^2, За период 1984-2018гг. на леднике Лысый уменьшение площади составило 1,67 км^2 (38 %).

Ледники очень чувствительны к изменению климата, с другой стороны, техногенное воздействие на ледники также является причиной их сокращения.

Наблюдается заметное сокращение северо-западной части ледника Лысый, сокращение длилось на протяжении более 30 лет. Тенденция сокращения ледника имеет развивающийся характер.

5. Результаты съемки местности на базе беспилотно летательного аппарата (БПЛА)



Рис. 40. Полевая экспедиция на участке с. Оргочор Жети-Огузского района, 2019 г.

Сотрудники лаборатории «Информационного обеспечения» Института водных проблем и гидроэнергетики НАН КР выражают огромную благодарность сотрудникам кафедры «Информационно-коммуникационных технологий и радиоэлектроника» Института Инновационных Профессий КГУСТА им. Н. Исанова заведующему выше названной кафедры к.т.н., доценту Талыпову Кубатбеку Кемеловичу., преподавателям кафедры Суюмкулову Азиму Асанкановичу, Назаралиевой Айгуль Турдугуловне за помощь выполнению аэрофотосъемку и за совместную обработки данных аэрофотосъёмки.

Визуализация пространственных данных или геовизуализация – это инструмент и технология представления геоданных в визуальной форме – на карте, картосхеме, трехмерном изображении или иным способом.

Современные геоинформационные системы, системы спутниковых технологий аккумулируют огромные объемы геопространственной информации [31-40].

Одной из проблем, порождаемых таким изобилием данных становится проблема поиска наиболее подходящих способов их эффективного использования.

В этой ситуации визуализация информации может стать ключевым вопросом, объединяющим, с одной стороны, богатейшие архивы накопленной высокоуровневой пространственной информации, а с другой, пользователей этой информации, нуждающихся в ней для решения своих задач (например, организации поддержки принятия решений, мониторинга, управления развитием пространственно-распределенных систем и иной деятельности).

Лица, принимающие решения, оперируют в своей работе большими объемами сложноорганизованной пространственной информации, и в этих условиях, способы, которыми визуализируется геопространственная информация, оказывают значительное влияние на их восприятие и последующее принятие решений.

Многие аспекты визуального отображения больших объемов разнородной геоинформации, могут быть значительно улучшены при условии большего внимания к результатам исследования.

Кроме того, существует ряд задач, напрямую связанных с оперативной обработкой больших объемов разнородной геоинформации для выработки управляющих воздействий и принятия решений.

В таких задачах активно используются методы интерактивного визуального анализа геоинформации. В этом случае метод визуализации геоданных имеет критическое значение, потому, что на основе результата визуализации данных будет выполнятся прогнозирование и принимать решение.

Аэрофотосъемка–один из основных видов изыскателских работ (рисунок 41), которое позволяет при резком увеличении производительности полевых работ перенести основной объем работ по получению пространственной информации о местности в камеральные условия с использованием средств современных технологий по обработке большого массива геопространственых данных (програмные обеспечении) и компьтерной техники.



Рис. 41. Снимок, полученный на базе Беспилотно-летательного аппарата (БПЛА), участок с. Орок.

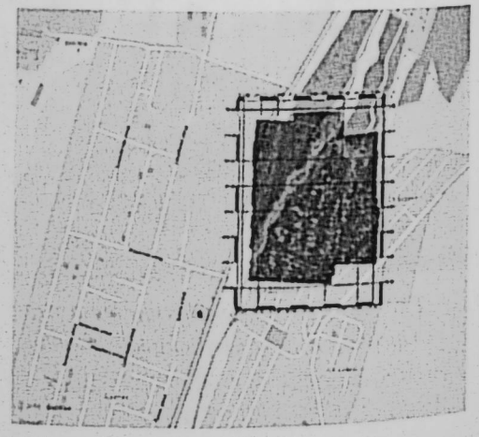


Рис. 42. Трансформированый снимок в координатную систему на местности

Актуальность проблемы контроля за сельскохозяйственными посадками в настоящее время ни у кого не вызывает сомнений. Площади посевных полей требуют постоянного контроля. Но зачастую с плоскости невозможно оценить весь масштаб ситуации на полях. Поэтому для ускорения этого процесса необходимо использовать аэрофотосъемку.

В сельхозпроизводстве для этого традиционно используются малая авиация, что достаточно дорого и зачастую не по карману малым сельхозпредприятиям. Поэтому во многих странах для контроля сельхозугодий применяются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), стоимость которых с экономической точки зрения во много раз дешевле любого пилотируемого летального аппарата.

Аграрии всего мира активно изучают возможности использования беспилотных летающих механизмов в сельском хозяйстве. Речь идет о некоторых видах транспортировки удобрений, а также о мониторинге пастбищ на предмет количества и качества биомассы. Беспилотники становятся все более актуальными в сельском хозяйстве.

Применение БПЛА в сельском хозяйстве дают возможность:

- создания электронных карт полей;
- инвентаризации сельхозугодий;
- оценить объем работ и контролировать их выполнение;
- вести оперативный мониторинг состояния посевов (БПЛА позволяет быстро и эффективно строить карты по всходам);
- определить индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index вегетационный индекс);
- оценить всхожести сельскохозяйственных культур;
- прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур; - проверить качество пропашности;
- вести экологический мониторинг сельскохозяйственных земель.

Аэрофотосъемочный БПЛА запускается, взлетает и садится в автоматическом режиме (на автопилоте) по загруженному маршруту. БПЛА, пролетая по заранее спланированному маршруту, выполняет цифровую съемку местности. Результатом съемки являются снимки высокого разрешения на запрограммированных точках по GPS координатам. Выполнив аэрофотосъемочный маршрут, БПЛА приземляется в ту же точку, откуда он взлетел.

Для каждого снимка получается полный набор цифровой информации координаты центральной точки данных для переноса и использования в общепринятых системах (например, ARCGIS или MAPINFO). Таким образом, все фотографии являются геопривязанными (например с помощью AGISOFT FOTOSCAN) и их можно сшить в один большой ортофотоплан поля. Аэрофотосъемка с БПЛА может заменить спутниковые снимки высокого разрешения для сельского хозяйства. Пример применения БПЛА в другой сфере, при проектировании автомабильной дороги приведен на рис.43.

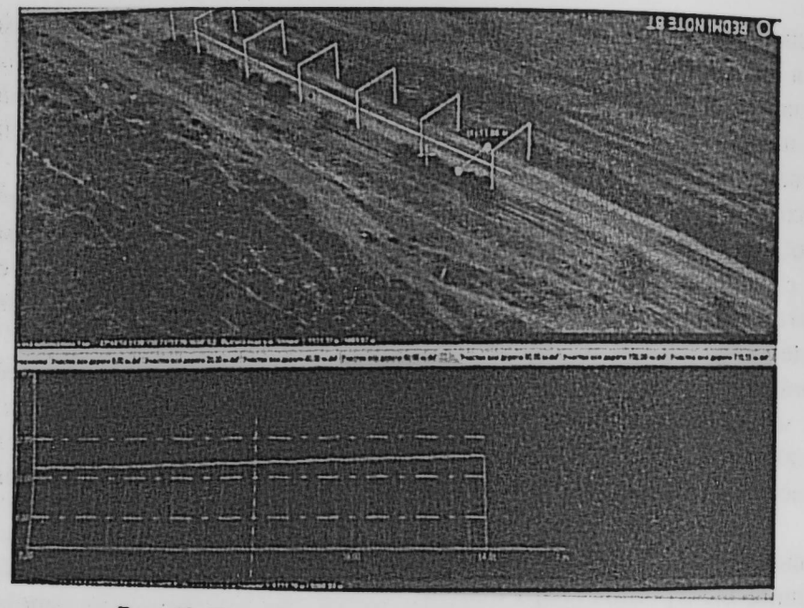


Рис. 43. Проектирование автомобильной дороги

5.1. Материалы и методы

1. Озеро Туз-Кёль на побрежии оз. Иссык-Куль;
2. Орошаемый участок учебно-хозяйственного центра (Учхоз) Кыргызского национального аграрного университета им. К.И.Скрябина в Сокулукском районе;
3. Орошаемый участок айыльного окмота с. Байтик.

Время проведения аэрофотосъемок:

4. Орошаемые участки с. Оргочор и с. Джеты-Огуз, Джеты-Огузского района Иссык-Кульской области – (07.2019 год) середина июля месяца 2019 года. (Рисунок 41, 42)

Участок оз. Туз-Кёль на побрежии оз. Иссык-Куль – 25 –го май 2019 г. Рисунок 43, 44, 45

Материалами для анализа являются аэрофотоснимки полученный с беспилотно летательного аппарата ГЕОСКАН 402 на примере участков.

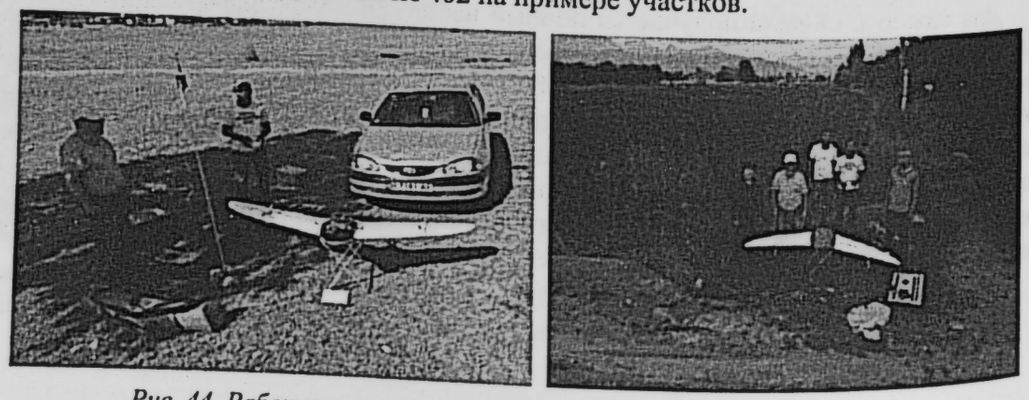


Рис. 44. Рабочие процессы на участке с беспилотным летательным аппаратом ГЕОСКАН 402



Рис. 45. Некоторые фрагменты полученном с БПЛА ГЕОСКАН 402

- Орошаемый участок учебно-хозяйственного центра (Уч-хоз) Кыргызского национального аграрного университета им. К.И.Скрябина в Сокулукском районе – 15 -го июня 2019 года

- Орошаемый участок с. Байтик – 5 октября 2019 года;

В качестве примера приведем обработанные аэрофотоснимки, полученные с беспилотного летельного аппарата Геоскан-401. На рисунке 46 показан аэрофотоснимок оз. Туз-Кель Иссык-Кульской области.

Для получения такого ортофотоплана есть этапы сценариев. С момента фотографирования в полете полученные аэрофотоснимки проходят ряд оработок на базе программного обеспечения AGISOFT. Первым делом идет процесс выравнивания, в результате которого получаем разряженное облако точек на основе фотографий. На рисунке 47 приведено облако точек, полученное по результатам процесса выравнивания фотографий оз. Туз-Кол.

В результате процесса выравнивания получаем связующие точки - разряженное облако точек, которое состоит из множества связующих точек выравнивания. На примере оз. Туз-Кель их было 337 089 (триста тридцать семь тысяч восемдесят девять точек).

Параметры выравнивания:

Точность выравнивания – средняя; общая преселекция по точкам; преселекция по парам – включена; характеристика точек на кадре – 40 000; предварительная подгонка камер – включена; время поиска совпадений – 21 минуты 4 секунды; время выравнивания составило – 14 минуты.

При процессе выравнивания есть несколько параметров точности - средняя, высокая, низкая. Очень высокая точность используется только для калибровки камер.

Средняя точность, почти как и высокая, используется почти всегда при создании цифровых моделей рельефа и всегда, если нет специальных требований к точности.

Низкая точность используется для быстрого выполнения процесса выравнивания.

М Соленое озеро (Туз-Кёль) находится на южном берегу от Иссык-Куля, в 70 км от города Балыкчи. Местоположение озера совсем без съезда от автотрассы линия от Иссык-Куля – буквально в 400 метрах. Поворот на озеро от основной магистральной дороги находится примерно на 56 километре дороги по направлению Балыкчи-Каракол южного берега озера Иссык-Куль. (Чок-Тал, Чок-Коо и Кызыл-Туу, у начала подъема на перевал Кескен-Бель. На повороте имеется указатель.

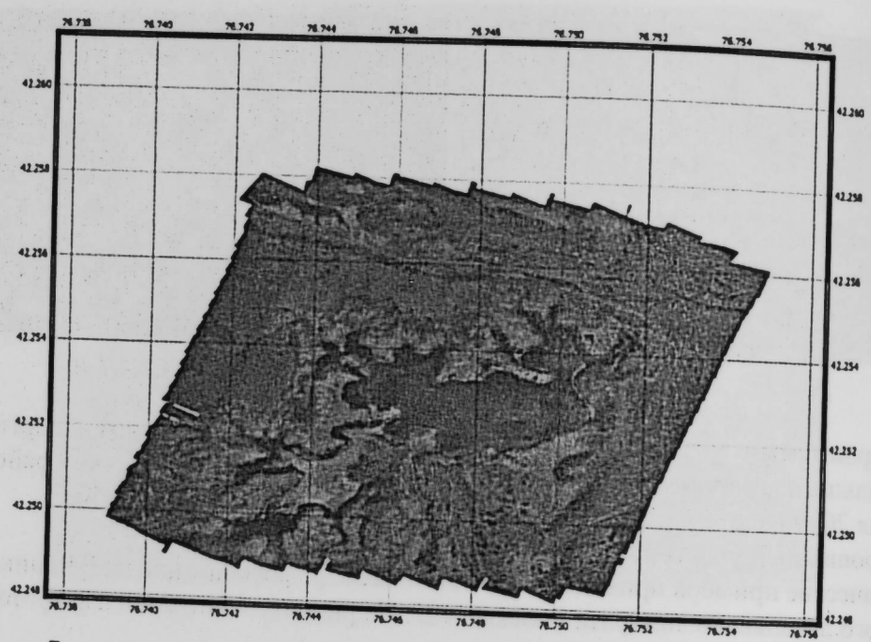


Рис. 46. Аэрофотоснимок оз. Туз-Кол (Ортофотоплан местности)

Общая преселекция – если нет геотегов, если нет координат камер, то программе нужно выполнить общую преселекцию, она определит стереопары, определит соседние снимки и тогда программа начнет поиск связующих точек.

Если есть геотеги, у каждого снимка можно выбрать преселекцию по привязке, и тогда программа сразу по координатам разобьёт все снимки на соседние и приступит к поиску связующих точек гораздо быстрее.

Свойства ортофотоплана: размер 52,297x44,401 см/pxl; система координат WGS 84 (EPSG::4326); цвет - 3 канала unit 8.

Параметры реконструкции: режим смешивания - мозаика; поверхность - карта высот.

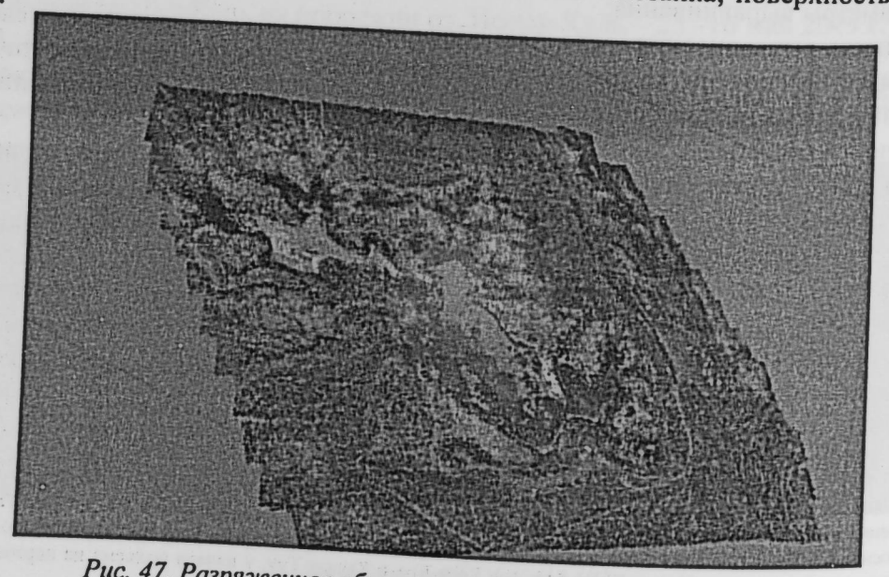


Рис. 47. Разряженное облако точек фотографий оз. Туз-Кол.

В результате аэрофотосъемки все фотографии сохраняются в один блок, который остоит из количества камер или из количества фотографий. На примере оз.Тус-Көл было 360 фотографий аэрофотосъемки, т.е. триста шестьдесят камер в одном блоке, остоящих из 337 089 (триста тридцать семь тысяч восемдесят девять) точек, средняя ратность связующих точек 4,22986; цвета точек – 3 канаа uint 8.

Список возможных цифровых моделей местности на базе програмного обеспечения AGISOFT.

Связующие точки (разряженное облако точек)
Карты глубины
Плотное облако точек
Модель TIN
Карта высот
Ортофотоплан местности

5.2. Цифровая модель изогипс (горизонталь) оз. Туз-Көл

Изогипсы, или горизонтали - это линии, соединяющие точки поверхности суши, которые имеют одинаковую высоту над уровнем моря, или абсолютная высота над уровнем моря. Изогипсы (горизонтали) изображают рельеф (неровности поверхности) на планах и на топографических картах. Если горизонтали расположены близко друг к другу, то склон крутой, если же на большом расстоянии друг от друга — склон пологий. Маленькие чёрточки, проведённые перпендикулярно к горизонталям (бергштрихи), показывают, в каком направлении склон понижается. Горизонталями может быть изображена и впадина. Крутые склоны обрывов или оврагов обозначают мелкими зубцами.

На рисунках 48, 49 показаны цифровые модели изогипс или иначе говоря цифровая модель рельефа (ЦМР), который описывает ситуацию рельефа на местности оз.Туз-Көл. Размер озера совсем небольшой: длина береговой линии составляет 1,5 км, а глубина - 11м. Но, несмотря на совсем небольшой размер, из-за своей солености оно не замерзает даже зимой.



Рис. 48. Разработаная цифровая модель изогипса (горизонтали) на участке оз. Туз-Кол

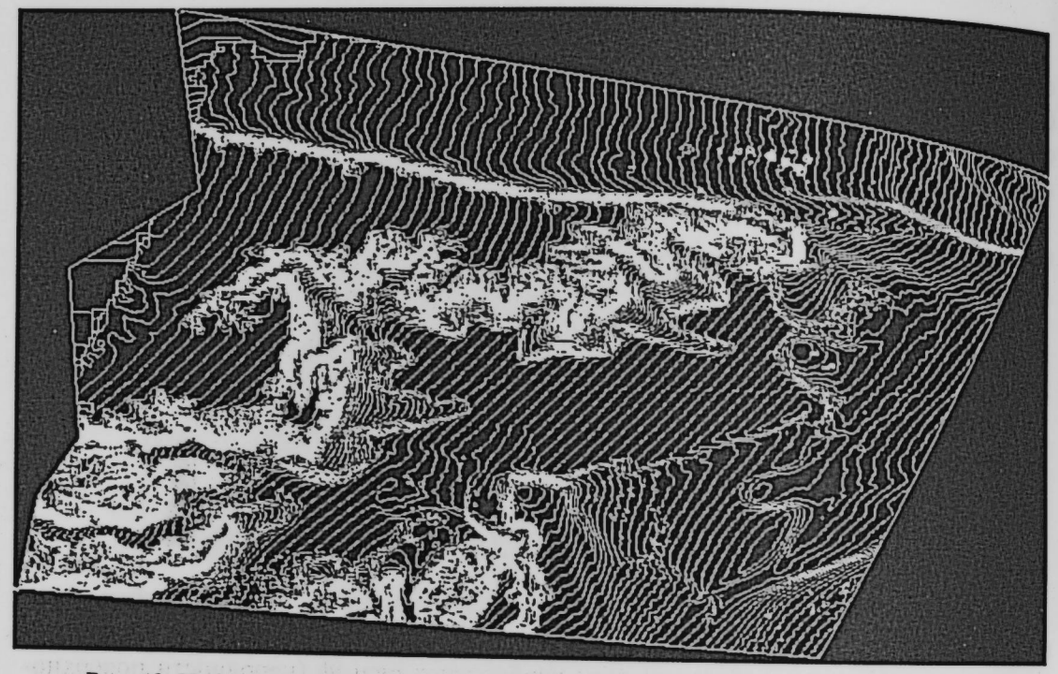


Рис. 49. Цифровая модель рельефа (ЦМР) отдельным слоем участка оз. Тус-Көл

Шаг изогипса – 1 м, разрешение сетки – 0,10 м. Изогипсы построены на основе карты высот оз. Туз-Көл.

Уклоны участков являются важным параметром в изучении местности для проектирвания различных сооружений или же в орошении сельскохозяйственных культур, поэтому была построена даный модель описывающий уклон местности на примере участка оз. Туз-Көл.

Установленные нижние границы диапазонов от 0-90 градусов ссответствуют диапазонам градации цветов, на рисунке 50 показанны диапазоны уклонов.

Нижнее значение диапазона	Цвет
3.0	
5.0	
10.0	
15.0	
20.0	

Рис. 50. Значение уклонов в диапазонах (единица измерения в градусах) с соответствующими градациями цветов

Цифровая Модель уклонов:

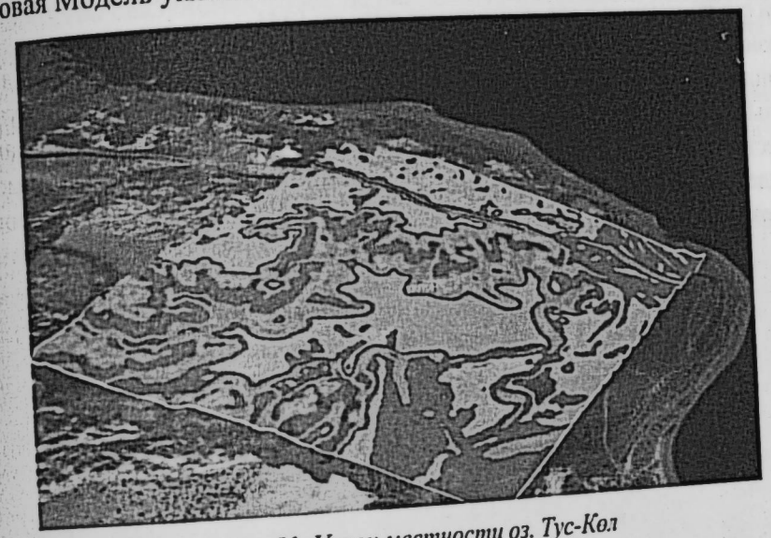


Рис. 51. Уклон местности оз. Тус-Көл

Уклоны – показатель крутизны склона; отношение превышения местности к горизонтальному проложению на котором оно наблюдается

Формулы расчета уклонов

$i = \frac{h}{a}$ – уклон (безразмерный) (8)

$i = \frac{h}{a} * 100$ – уклон в процентах (%) (9)

Моделирование стока воды (влагозапасы) на примере участка учебно хозяйственного центра Кыргызского национального аграрного университета им. К.И.Скрябина.

Почвенная влага

Почвенная влага – это ресурсы для построения тела растений и это из основных факторов, определяющих условий существования сельскохозяйственных культур и обработки почвы.

Процесс фотосинтеза на большей части территории нашей страны ограничен не количеством солнечной энергии, а количеством воды.

В связи с этим рациональное использование воды, по крайней мере, в аридных зонах, является основной проблемой [24].

Влага в корнеобитаемом слое почвы - практически единственный источник водоснабжения растений. Постоянно происходящий обмен влагой между почвой, растением и атмосферой непрерывно меняет содержание почвенной влаги. Поэтому изучение этого жизненного необходимого фактора сводиться к изучению режима влаги в почве, определяемого совокупности процессов поступления в почву, изменения фактического состояния, передвижения и расходования ее из почвы.

В большинстве районов нашей страны колебания урожаев от года к году чаще всего вызываются несоответствием запасов влаги в почве потребностям в ней растений. Специализация сельского хозяйства, структура посевных площадей, подбор сортов, системы обработки почвы и удобрений, способы уборки сельскохозяйственных культур, не говоря уже о коренных мероприятиях: орошении, осушении, полезащитном лесоразведении – вот далеко не полный перечень тех вопросов, решение которых

требует учета особенности водного режима сельскохозяйственных угодий и закономерностей его изменения в зависимости от погоды [24].

В связи с такими проблемами использована современная технология дистанционного зондирования земли, которая позволяет на базе фотоснимков полученных с беспилотных летательных аппаратов построить модель стока воды для анализа и оценки местности. На рисунке 52 показан расчет объемов и насыпей видимо. Влагозапасы выделенные синим цветом сосредоточены на том объеме выемок орошаемого участка, который составляет 16,7 м^3.



Рис. 52. Моделирование стока вод (влагозапсы в зоне аэрации)

Модель стока воды наглядно отражает наличие влажности почвы в зоне аэрации, так что при орошении можно минимизировать подачу оросительной воды на эти участки, направить воду на другие участки таким образом можно внедрить технологию точного земледелия.

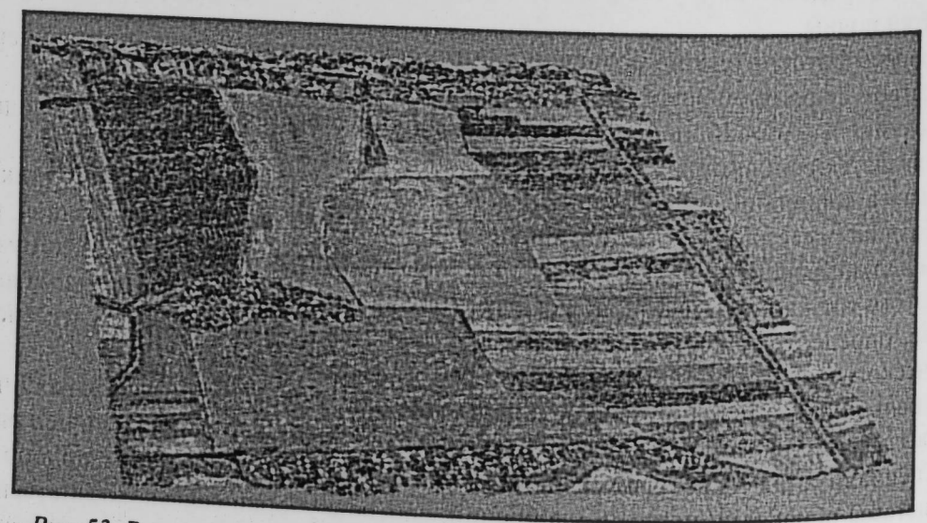


Рис. 53. Разряженное облако точек участка учебно хозяйственного центра Кыргызского национального аграрного университета им. К.И.Скрябина.

Количество связующих точек на рис.53 791,463 (семь сот девяносто одна тысяча четыристо шесть десят три); количество фотографий (камеры) 1394 (одна тысяча триста девяносто четыри).

При процессе выравнивания выбранно низкое качество, из-за выбранного варианта выравнивания на рисунке заметно наблюдается местами малое количество точек или даже есть отсутствие точек местами.

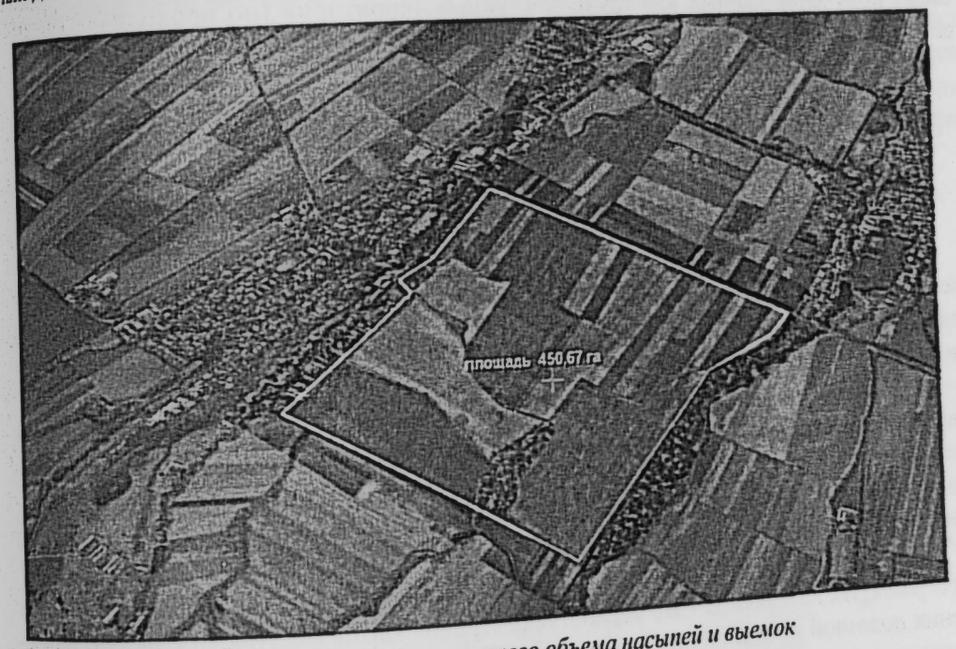


Рис. 54. Расчет фактического объема насыпей и выемок

Расчет выемок и насыпей (рис.54) расчитан по триангуляции отсчетной поверхности, шаг расчета выбран наилучщий. Результаты: насыпи - 32 981 018,58 м^3; выемки - 16.7 м^3.

Площадь полигона составила – 450,67 га.

Выводы:

Материалы, полученные с помощью беспилотных летательных аппаратов, это тот ресурс, по которому создаются цифровые модели рельефа, местности, уклонов, стока воды и многие другие модели которое очень актуальны при проектированию инженерно-коммуникационных сооружений.

Аэрофотосъемки -ьэто основа для состовления электронных карт полей и других объектов в целях рационально использования сельскохозяйственные орошамых и не орошаемых участков.

Беспилотники позволяют проводить мониторинг природных ресурсов, вычислять объемы работ, насыпей и выемок в горнодобывающих отраслях, их можно применять независимо от ландшафта.

Спектр возможностей съемки с БПЛА достаточно широк в разных отраслях исследований Земли. Проведение географических исследований с помощью БПЛА позволяет получить данные с сверхвысоким пространственным и временным разрешением, важные при проведении крупномасштабных исследований.

Технические особенности БПЛА позволяют рассматривать данный вид съемки как альтернативу под спутниковым наблюдениям, осуществляемых с пилотируемых аппаратов, или аэровизуальному дешифрированию. Изученный теоретический опыт использования данных с БПЛА позволил предположить целесообразность использования высоко детальных данных дистанционного зондирования, полученных с помощью БПЛА, для целей крупномасштабного тематического картографирования, а также получения данных для труднодоступных территорий (по проходимости, высоте и пр.).

6. Векторизация пространственных данных на примере орошаемых земель восточной части котловины оз. Иссык-Куль Кыргызской Республики

В наше время в мире информационных технологий с каждым днем появляется все большее количество задач, решение которых переносится на компьютер. Решение любых задач на компьютере пока представляет собой большой комплекс вычислений по заданным алгоритмам.

Областью применения алгоритма могут быть пакеты графических редакторов (векторно-растровые) и различные геоинформационные системы (ГИС). Особенно актуален алгоритм векторизации именно для гис, так как процесс составления и формирования цифровых карт очень трудоемкий и, как правило, этот процесс ручного (экспертного) происхождения.

В ГИС решение задачи векторизации осуществляется с помощью специальных программ. Их назначение - это обработка растровой карты местности с целью извлечения полезной информации об объектах на карте и сохранения этой информации в специальных векторных форматах данных на любом виде носителя или в базах данных.

Понятие принципа векторизации изображения:

Векторизация растрового изображения - преобразование растровой графики в векторную. В растровой графике каждый объект или элемент изображения формируется при помощи точек (пикселей). Векторная графика - это точное математическое описание каждого элемента. Это главное различие между растровыми изображениями и картинками, выполненными в векторной программе.

Плюсы и минусы векторной и растровой графики:

Преимущество растровой графики - это возможность создания рисунка любой сложности, с какими только возможно цветовыми переходами.

Из недостатков - это большой объем графических файлов и изменения размера изображений с потерей качества.

Основные преимущества векторного изображения:

- возможность точно создать и описать объект;
- возможность масштабирования и редактирования объекта без потери качества изображения

Преобразование пиксельного изображения в векторное (векторизация или трассировка), в подавляющем большинстве случаев требует не просто вмешательства, а творческого участия.

Векторным изображением в компьютерной графике принято называть совокупность более сложных и разнообразных геометрических объектов. Важнейшая особенность векторной графики состоит в том, что для каждого объекта (или, как мы будем более точно говорить далее, класса геометрических объектов) определяются управляющие параметры, конкретизирующие его внешний вид. Например, для окружности такими управляющими параметрами являются диаметр, цвет, тип и толщина линии, а также цвет внутренней области. Векторное изображение существенно более гибко в работе. Чтобы увеличить или уменьшить его, требуется всего лишь изменить один управляющий параметр изображения в целом -- масштаб. При этом размер файла с векторным изображением не увеличится ни на один байт. В качестве наглядного примера предоставлена векторизованную карту восточного побережья оз Иссык-Куль, где отражаются красными штрихами орошаемые участки, наблюдается гидрографическая сеть водных ресурсов рек котловины оз. Иссык-Куль (рис.55).

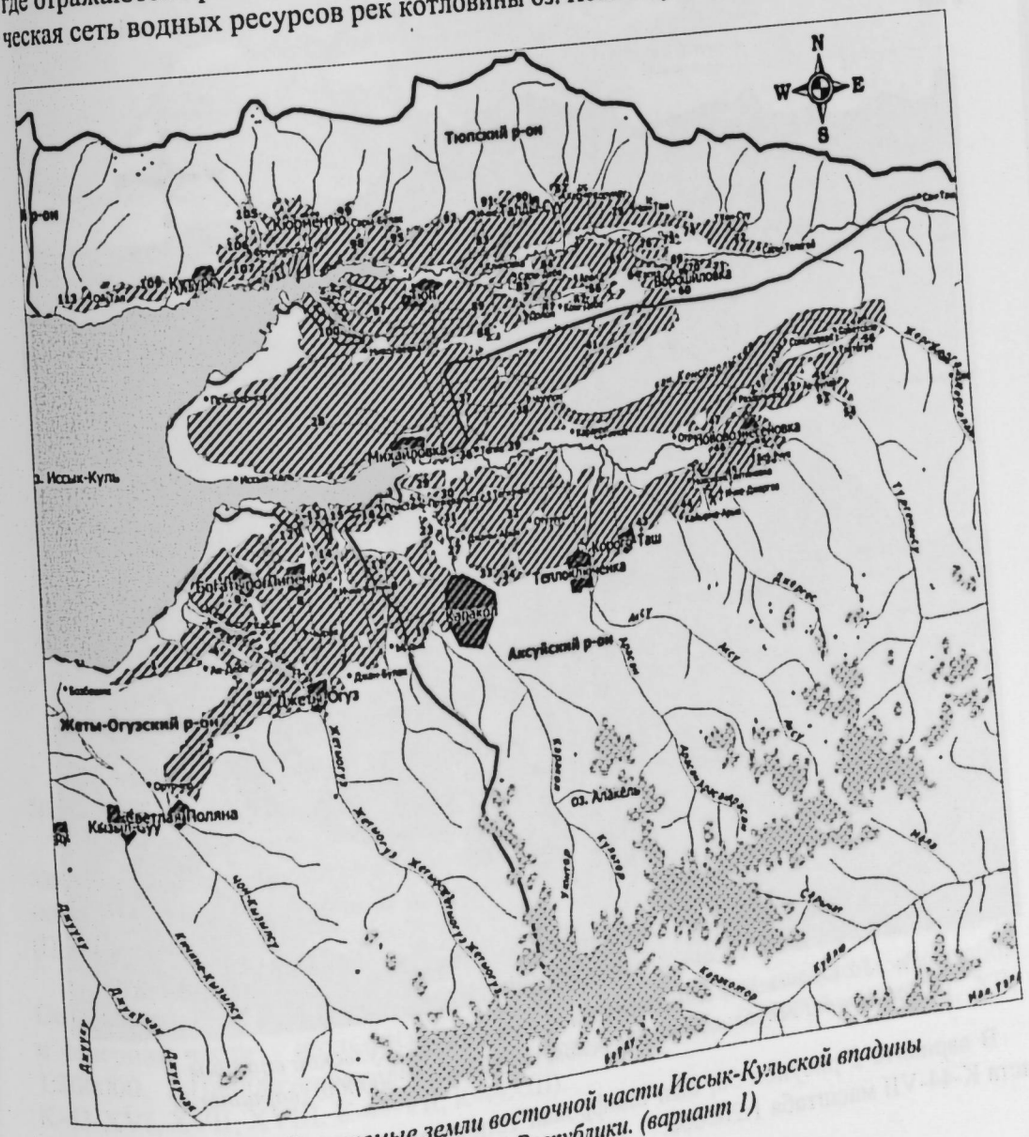


Рис. 55. Орошаемые земли восточной части Иссык-Кульской впадины Кыргызской Республики. (вариант 1)

Для выполнения задания были использованы космические снимки из программы Google Earth Pro 7.3.2 (июль-август 2018 г.), топографические планшеты масштабов 1:200000, 1:100000.

Векторизация (оцифровка) проводилась в программе MapInfo Pro 17.0.3 путём регистрации (привязки) космических снимков (61 снимок) и бумажных топографических планшетов в Универсальной проекции Меркатора (WGS 84) для зоны 44 (северное полушарие; Кыргызстан). Было проведено дешифрирование космических снимков и оконтуривание (векторизация) по ним орошаемых площадей. В результате были созданы отдельные слои по гидрографии, рельефу, площадям орошаемых земель (рис. 56, 57), дорожной сети и административным подразделениям (районы, населённые пункты, область). В итоге путём комбинаций и оформления различных слоёв были созданы несколько вариантов карт орошаемых земель восточной части Иссык-Кульской впадины и составлена таблица (Excel 2019) отдельных площадей орошения в км^2.

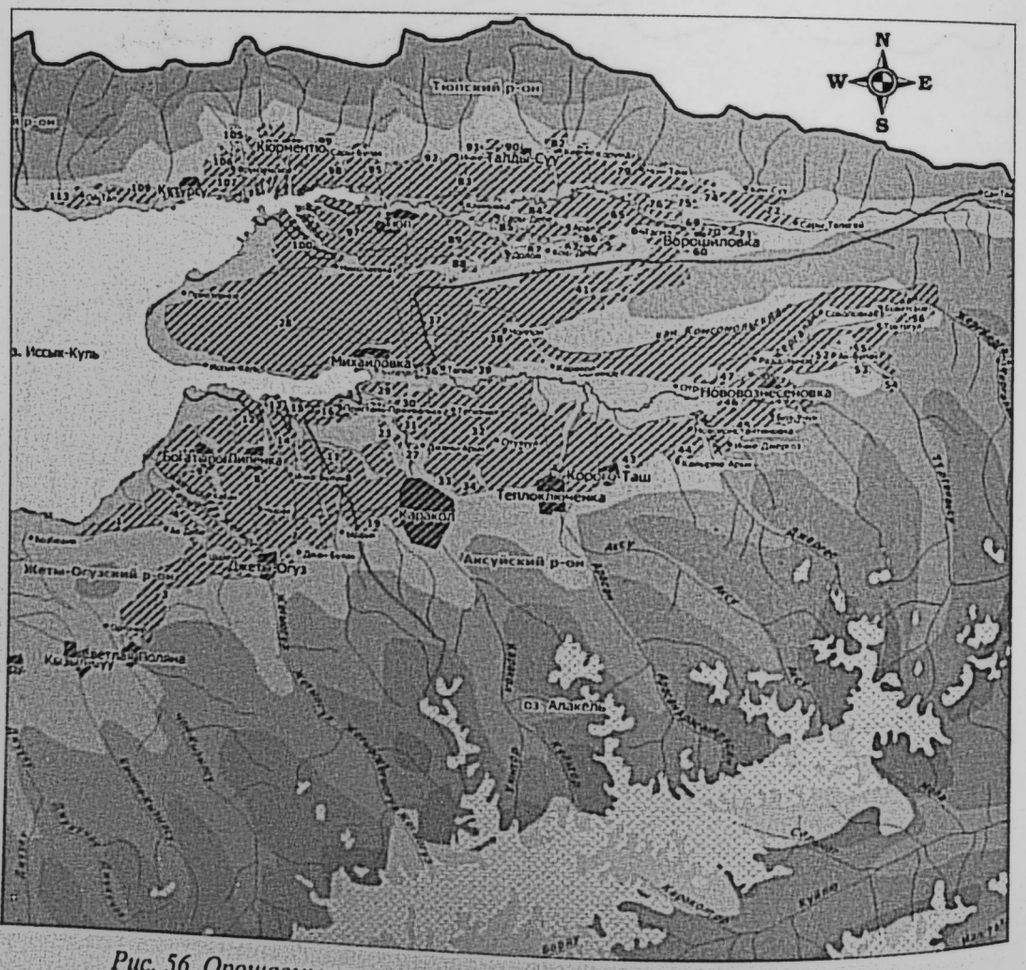


Рис. 56. Орошаемые земли восточной части Иссык-Кульской впадины Кыргызской Республики на топо основе масштаба 1:200000. (вариант 2)

В варианте 2 рисунок 56, был оцифрован топопланшет лист К-44-XIII и часть листа К-44-VII масштаба 1:200000.

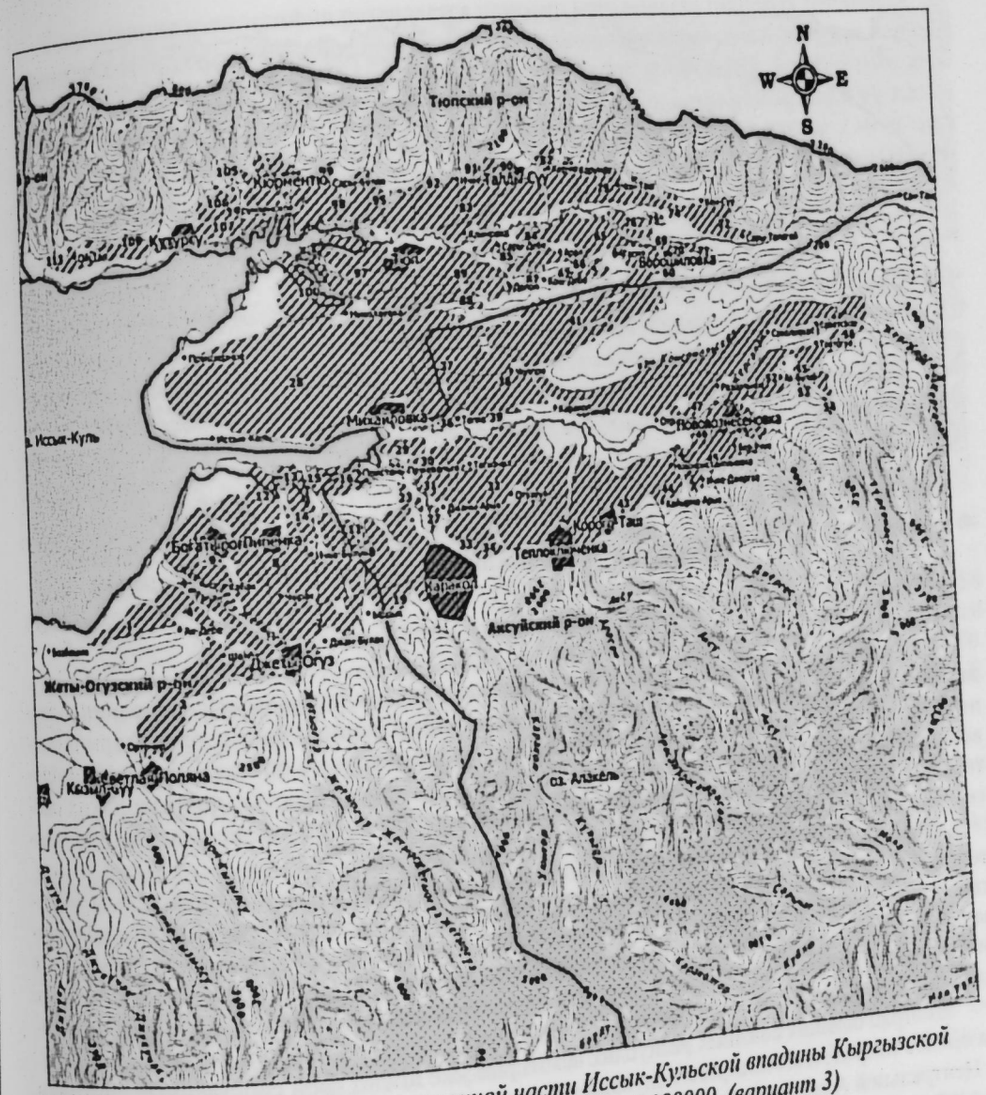


Рис. 57. Орошаемые земли восточной части Иссык-Кульской впадины Кыргызской Республики на топооснове масштаба 1:100000. (вариант 3)

В варианте 3 рисунок 57 были оцифрованы топо планшеты листов К-44-49, К-44-50, К-44-61, К-44-62 и части листов К-44-37 и К-44-38 масштаба 1:100000.

В итоге 2020 году путём комбинаций и оформления различных слоёв были созданы несколько вариантов карт орошаемых земель Иссык-Кульской впадины (Рисунок 58) и составлена таблица каталог отдельных площадей орошаемых земель в км^2 (Приложение1).

Для выполнения задания были использованы космические снимки из программы Google Earth Pro 7.3.2 (восточная часть впадины - июль-август 2019; южная, западная и северная части - июль-август 2020 г.), топографические планшеты масштабов 1:200000, 1:100000(территория частей листов масштаба 1:200000 - К-43-XI, XII; К-43-XVI, XVII, XVIII, К-44-VII, К-44XIII).

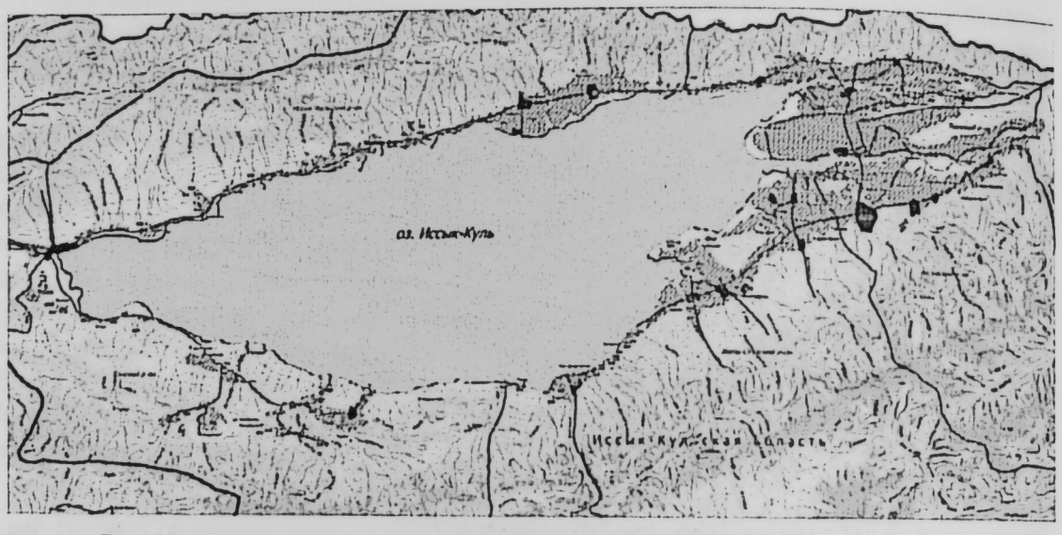


Рис. 58. Векторизованные орошаемые площади Иссык-Кульской котловины

Заключение

Работа лаборатории «Информационного обеспечения» в научном исследовании показала, что современные технологии дистанционного зондирования Земли и геоинформационных систем на высоком уровне позволяют распознавать природные объекты, классифицировать, моделировать, определять границы бассейнов рек и озер с точностью до нескольких сантиметров. Это дает уникальную возможность научно-практическим исследованиям во многих направлениях экономики КР.

Спутниковые данные незаменимы при решении задач, связанных с оперативным мониторингом протяженных или труднодоступных территорий. Увеличение объема и информативности получаемых данных ДЗЗ способствует расширению круга решаемых практических задач (мониторинг состояния окружающей среды, инвентаризация сельскохозяйственных угодий, лесопользование, территориальное планирование, мониторинг и прогнозирование последствий чрезвычайных ситуаций и др.).

Из стран бывших союзных республик некоторые уже имеют свои собственные спутники на орбите посредством которого получают спутниковые снимки с большими разрешениями. В Центральной Азии Республика Казахстан (Проект ДЗЗ- Казахстан Арыш Сапары) из Закавказья Республика Азербайджан (АзерКосмос).

Таким образом, сотрудниками лаборатории выполнено следующее:

Проведена работа со спутниковыми снимками, их обработка посредством распознавания объектов, что открывает широкую возможность для развития науки и производства, требует продолжения и совершенствования в этом направлении.

Результаты расчета сельскохозяйственного индекса NDVI позволили распознавать биологические и другие (искусственные материалы бетон, асфальт) объекты согласно градиентной или дискретной шкале NDVI. Но для распознавания пшеницы, кукурузы, фасоли, картофеля и других растений необходимо изучение непосредственных индексов.

В результате сравнительного анализа результатов моделирования на основе разных открытых данных спутниковых систем можно отметить, что ЦМР на основе AW3D30 является наиболее подходящей для гидрологических исследований и уточнения площадей и границ бассейнов рек и озер в условиях высокогорья на территории.

Водный индекс NDWI позволил распознать водную среду, в частности акваторию оз. Иссык-Куль. Показаны изменения акватории оз. Иссык-Куль посредствам спутниковых снимков с 1998 г. по 2002г. и с 2013г. по 2020 гг.

Современная картография развивается разными методами спутниковых технологий, методом аэрофотосъемки (БПЛА), и современными геодезическими инструментами как GPS приемник, электронные тахеометры и др. Результаты аэрофотосъемки беспилотного летательного аппарата (БПЛА) на участке учебно-хозяйственного центра Кыргызского национального аграрного университета им. К. И. Скрябина в Сокулукском районе и некоторые объекты Иссык-Кульской области Жети-Огузском районе могут послужить источником информации для получения пространственных данных, таких как площади, координаты местности, расстояние, уклон орошаемого участка, и позволит создавать цифровые модели местности и рельефа.

Векторное изображение существенно более гибко в работе. Чтобы увеличить или уменьшить его, требуется всего лишь изменить один управляющий параметр изображения в целом – масштаб. При этом размер файла с векторным изображением не увеличится ни на один байт. В качестве наглядного примера предоставлена векторизованная картавосточного побережья оз Иссык-Куль, где отражаются орошаемые участки и гидрографическая сеть водных ресурсов рек котловины оз. Иссык-Куль.

Список использованных источников

1. Akshay et al., 2018; Козуб, 2018; Courty et al, 2019; Жусупов и др., 2019; Tavares da Costa et al, 2019

2. *Abdiev A., Chymyrov A.* The Kyrgyz National Reference System "Kyrg-06" and GNSS Control Centre "KyrPOS". Proceedings of the Central Asia GIS Conference GISCA'13 "Connected Regions: Societies, Economies and Environments", May 2-3, 2013, Almaty, Kazakhstan, pp. 85-90.

3. Remote Sensing and GIS technologies for monitoring and prediction of disasters / eds: S. Nayak, S. Zlatonova. – Berlin: Heidelberg Sringer, 2008. – IX. – 270 p.

4. *NASA JPL/ METI.* Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM). Web resource: http://gdemdl.aster.jspacesystems.or.jp/index_en.html (accessed 10.12.2019).

6. Yun Z. Texture-Integrated Classification of Urban Treed Areas in high-resolution color infrared imagery // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – № 12. – Vol. 67. – 2001. – pp. 1359–1365.

7. *JAXA.* ALOS Global Digital Surface Model ALOS World 3D - 30m (AW3D30). Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). Web resource: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm (accessed 10.12.2019).

9. *Chymyrov A., Bekturov A.* Evaluation of the modern Earth Gravitational Models over territory of the Kyrgyz Republic. International Journal of Geoinformatics, Volume 15, No. 4, October-December 2019, pp. 77-83.

10. Вицентий А.В. Визуализация пространственных данных как подход к построению когнитивных интерфейсов мультипредметных информационных систем поддержки регионального управления // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №5 (2017) https://naukovedenie.ru/PDF/82TVN517.pdf

11. Влияние изменений климата на горную экосистему Тянь-Шаня. (На примере Иссык-Кульского и Чуйского Бассейнов). Маматканов Д.М., Бажанова Л.В., Кузьмиченок В.А., Романовский В.В., Сатылканов Р.А

12. Все об озере Иссык-Куль. Романовский В., Маматканов Д., Кузьмиченок В., Подрезов О.

13. Водный Кодекс Кыргызской Республики, 2005; Орифов, 2019; Савина, 2014

14. Главное Управление Геодезии и Картографии при Совете министров СССР. Атлас Киргизской Советской Социалистической Республики. Том первый. М1987.

15. Д. Н. Цыганков1, В. И. Сысенко2 «Применение данных Дистанционного Зондирования для мониторинга использования земель сельскохозяйственного назначения» 2012г.

16. М.Ю. Катаев, А.А. Бекеров., «Методика обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям».
17. Мальцев и др., 2018; Patel и др., 2016; Drisya, Kumar, 2016]
18. Озеро Иссык-Куль. Академия наук Киргизской ССР. Фрунзе 1978
19. Проблемы озера Иссык-Куль, Д.М.Маматканов, В.И.Сысенко,Ж.Кулжабаев, Фрунзе 1990
20. Рыбак О.О., Рыбак Е.А., Яицкая Н.А., Поповнин В.В., Лаврентьев И.И., Сатылканов Р., Жакеев Б. Модельные исследования эволюции горных ледников на примере ледника Сары-Тор (Внутренний Тянь-Шань) Журнал "КРИОСФЕРА ЗЕМЛИ"
21. Связь уровня озеро Иссык-Куль с его испаряемости и влажностью. Сатылканов Р.А., Маматканов Д.М., Чонтоев Д.Т., Наука, Новые технологии и инновации Кыргызстана, №4, 2019.
22. Семакова, 2015; Fujita et al, 2008; Kolecka, Kozak, 2014; Yue et al., 2017.
23. Создание цифровых моделей рельефа на основе открытых данных дистанционного зондирования земли при уточнении границ бассейнов рек котлована озера Иссык-Куль. Чымыров А.У., Чонтоев Д.Т., Жакеев Б.М.
24. Справочная информация: Riggs, G., D. Hall, and V. Salomonson. "A Snow Index for the Landsat Thematic Mapper and Moderate Resolution Imaging Spectrometer." *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IGARSS '94, Volume 4: Surface and Atmospheric Remote Sensing: Technologies, Data Analysis, and Interpretation (1994), pp. 1942-1944.
25. С. А. Вериго, Л. А. Разумова Почвенная влага 2013
26. Физическая география Кыргызстана. Институт геологии им. академика М.Адышева НАН КР, Отдел географии, Б-2013.
27. Широкополосное альбедо и изменения размера ледников массива Ак-Шыйрак в Период 1 1994 по 2018 гг., Тянь-Шань, Кыргызстан, Рахматилла уулу Зарилбек
28. Интернет ресурс
29. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space/ Remote Sensing of Environment
30. Volume 58, Issue 3, December 1996, Pages 257-266
31. https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/factsheets/factsheet_ndwi.pdf
32. https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/help/data/imagery/indices-gallery.htm
33. https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
34. https://eos.com/ndsi/
35. https://nsidc.org/support/faq/what-ndsi-snow-cover-and-how-does-it-compare-fsc
36. https://en.wikipedia.org/wiki/Normalized_difference_vegetation_index
37. https://land.copernicus.eu/global/products/ndvi
38. https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-normalized-difference-vegetation-index?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
39. https://www.soft.farm/ru/blog/vegetacionnye-indeksy-ndvi-evi-gndvi-cvi-true-color-140
40. https://earthexplorer.usgs.gov/

ГЛАВА 7. ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

В. И. Липкин; М.С Абдулдаев; М.Е. Коккозов

1. Характеристики нижне-нарынского каскада ГЭС

Река Нарын имеет снегово-ледниковое питание, причем, в верховьях основным источником питания являются ледники, а в среднем и нижнем течении – сезонные снега. Количество ледниковых вод, поступающих в реки бассейна реки Нарын в разные годы почти одинаково. Снеговой сток из года в год меняется в больших пределах.

Максимальный расход реки Нарын в половодье отмечался летом 1966 года. У её устья он был равен 2990 м^3/с, а у села Уч Терек - 2400 м^3/с. Зимой того же года наименьший расход реки Нарын равнялся всего 63 м^3/с.

С 1975 года наименьший средний годовой приток реки Нарын в Токтогульское водохранилище был 268 куб. м / с в 1982 году. Максимальный приток реки Нарын был 537 м^3/с в 2017 году.

Оптимальными периодами притока воды реки Нарын в Токтогульское водохранилище, относительно равномерности притока воды с 1990 по 2014 годы, были семилетние периоды.

Наиболее оптимальными периодами притока воды реки Нарын в Токтогульское водохранилище, относительно равномерности притока воды с 1988 по 2010 годы, были десятилетние периоды.

Токтогульское водохранилище - ирригационно-энергетического назначения. Крупнейшее водохранилище в Центральной Азии, позволяет осуществлять многолетнее регулирование стока воды.

Среднемноголетний приток воды к Токтогульскому водохранилищу за период его эксплуатации (1975-2008 годы) составил 12.25 млрд. м^3, в том числе в вегетационный период 9.39 млрд. м^3, а в межвегетацию всего – 2.86 млрд. м^3.

Наименьшая среднемесячная сработка - 239 м^3/с была в 1979 году, а наибольшая – 484 м^3/с была в 2007 году.

Высокие требования к Токтогульскому водохранилищу, налагаемые, как в вегетационный период, так и в межвегетацию, особенно в течение последних лет, существенно отразились на несбалансированности использования водных ресурсов реки Нарын и полной сработке ранее созданных запасов воды в водохранилище.

В Кыргызской энергосистеме действует 9 крупных электрических станций с суммарной установленной мощностью 3930 МВт, в том числе 7 гидроэлектростанций с установленной мощностью 3030 МВт и 2 теплоэлектроцентрали с установленной мощностью 862 МВт и 9 малых гидроэлектростанций с установленной мощностью 38,4 МВт.

Основное производство электроэнергии Кыргызстана сосредоточено на пяти Нижне-Нарынских ГЭС.

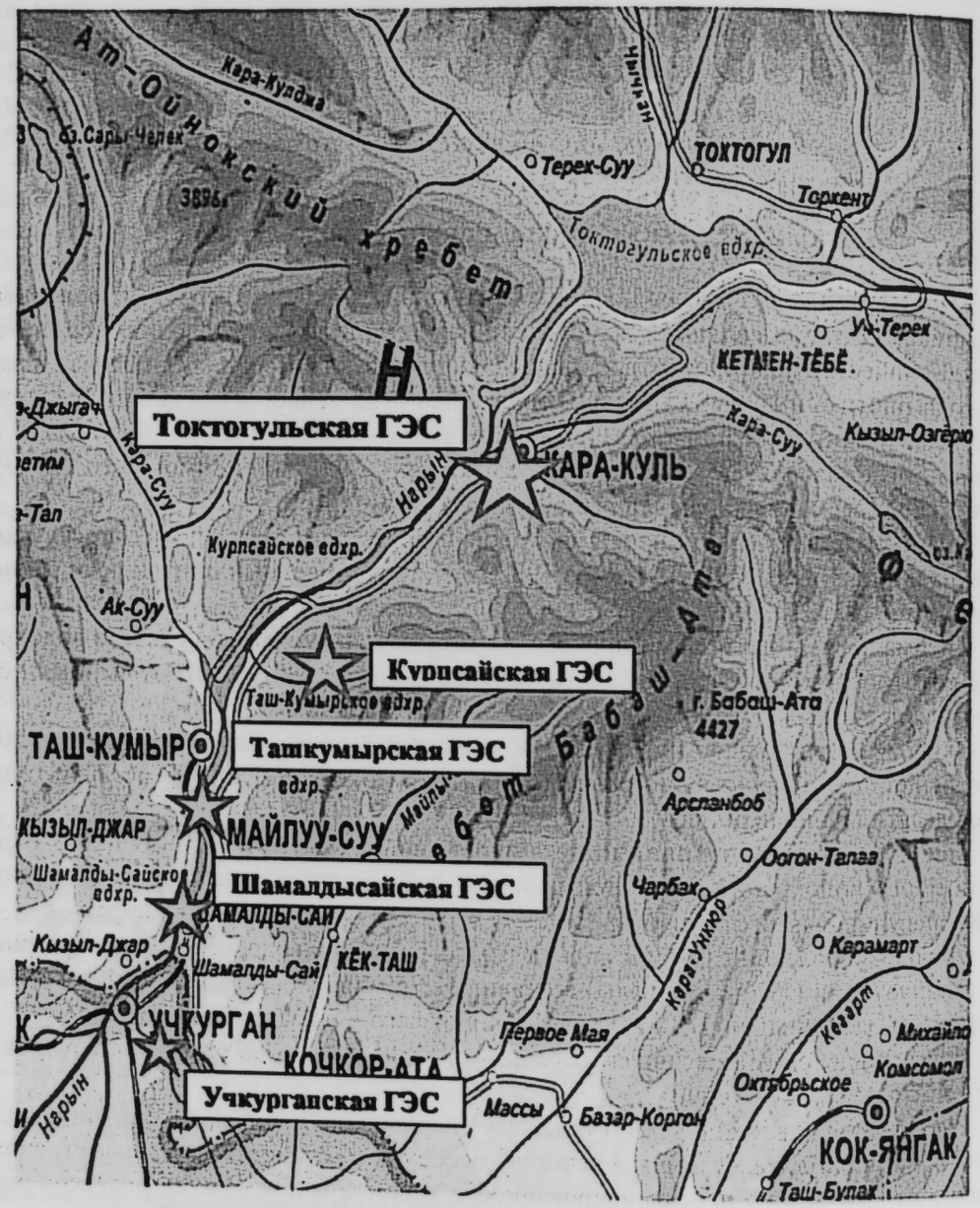


Рис.1. Схема размещения Нижне-Нарынского каскада ГЭС.

Основными гидроэнергетическими параметрами ГЭС принято считать:

мощность, энергию, напоры, гарантированную мощность, среднюю многолетнюю выработку электроэнергии.

Мощность Р и энергия Е, выработанная ГЭС определяются по формулам:

$P = 9{,}81 * Q * H * \eta$, кВт;

$E = P * T$, кВт-ч.

где: **Q** – расход воды через гидротурбины ГЭС при расчетном напоре, м ^{3} / с;

Н - напор, действующий непосредственно на турбину; м ;

η - произведение коэффициентов полезного действия турбины и генератора;

Т - время работы гидрогенераторов, ч.

Установленная мощность ГЭС Р у равна сумме номинальных мощностей генераторов, установленных на ГЭС.

Гарантированная мощность ГЭС - мощность заданной расчетной обеспеченности, которая для ГЭС обычно составляет 90–95%, и соответствующая ей суточная выработка электроэнергии.

Средняя многолетняя выработка электроэнергии ГЭС определяется отношением суммы среднегодовых выработок электроэнергии к количеству лет, по многолетнему ряду наблюдений.

Напор Н, действующий непосредственно на турбину, равен:

$$H = H_c - h_п, м,$$

где: **Н с -** статический напор равный разности отметок верхнего и нижнего бьефа;

h п - гидравлические потери напора в водоприемнике, подводящих и отводящих водоводах ГЭС.

Расчетный напор Н р равен минимальному напору, при котором обеспечивается установленная мощность ГЭС.

Основные гидроэнергетические характеристики каскада Нижне-Нарынских ГЭС представлены [1] в таблице 4.1.

Таблица 1. Характеристики каскада Нижне-Нарынских ГЭС

Показатель	Наименование Гидроэлектростанции					Всего
	Токто-Гульская	Курп-сайская	Ташку-мырская	Шамалды-сайская	Учкур-ганская	
Мощность установленная, МВт	1200	800	450	240	180	2870
Выработка электроэнергии, млн. кВт-ч	4100	2630	1550	900	820	10000
Средний многолетний расход воды, м^3 / с	359	391	439	438	429	359 ... 439
Характерный Напор, м, максимальный минимальный расчетный	180 110 140	106,0 90,5 91,5	58,5 40,0 53,0	31,0 25,2 26,0	36,0 18,5 20,0	411 284 330
Характерные Уровни воды, м НПУ УМО	900 837	724 721,6	628 626,5	572 569,9	539,5 536,5	900 ... 536,5
Число гидротурбин, шт.	4	4	3	3	4	-
Тип гидротурбин	РО 170\ 865-В-535	РО 115-В-515.6	РО 75\ 3123-В-620	ПЛ 40\ 587 а-В-680	ПЛ 577-ВБ-500; ПЛ-707-	-
Расчётный расход воды на одну гидротурбину, м^3 / с	240	243.	319	345	190	190 ... 345
Максимальный расход воды через гидротурбины, м^3 / с	960	972	957	1035	760	760 ... 1035
Удельный расход воды при расчётном напоре, м^3 / с для 1 кВт-ч	2,95	4,4	7,7	15,6	14,0	2,95 ... 15,6
Расход воды через водопропускные сооружения при НПУ всего, м^3 / с	3500	2537	3293	3090	3250	2537

в т.ч. донный водосброс, поверхностный водосброс	2340 1160	1037 1500	2093 1200	3090 -	2296 954	1037 954
Дата ввода агрегатов:						
Первый	1975.01	1981.02	1985.12	1992.07	1961.12	-
Второй	1975.11	1981.12	1986.08	1994.02	1962.06	-
Третий	1976.01	1982.04	1987.09	1995.12	1962.09	-
Четвёртый	1976.01	1982.11	-	-	1962.11	-

97 % генерирующей мощности ГЭС сосредоточено на Нарынском каскаде. При все остальных ГЭС каскада, расположенных ниже по водотоку, имеются водохранилища небольшой емкости, обеспечивающие недельное или суточное перерегулирование расходов воды после Токтогульской ГЭС.

При сохранении существующего технического состояния генерирующего оборудования электрических станций, а также при благоприятных условиях по поставкам материально- технических ресурсов и гидрологической обстановке реки Нарын электрические станции Кыргызстана могут вырабатывать не более 15 млрд. кВт-ч электроэнергии, а спрос на электроэнергию ежегодно растет на 3-5%.

В зимнее время нагрузки на сети и потребление электроэнергии в 2 - 4 раза превышают нагрузки и потребление в летнее время, что приводит к снижению надежности электроснабжения в зимнее время и аварийным отключениям.

Внутреннее потребление электроэнергии в 2009 году составляло 8,36 млрд. кВт-ч, а в 2014 году – 13,08 млрд. кВт-ч. За рассматриваемый период внутреннее потребление выросло на 35 %.

Потребление электроэнергии по Республике с 1990 года изменялось от 11,32 млрд. кВт-ч до 14,79 млрд. кВт-ч при среднем потреблении 12,01 млрд. кВт-ч

Производство электроэнергии зависит от ее потребления, которое имеет ярко выраженный сезонный характер. Увеличение спроса на электроэнергию с соответственным увеличением нагрузок на электрические сети и сезонность ее потребления являются главной проблемой энергосектора..

Производство электроэнергии Токтогульской ГЭС равное 4 100 млн. кВт-ч могло быть получено только при коэффициенте полезного действия гидроэнергоузла равного 95 % и круглосуточной постоянной нагрузке гидроэнергетических агрегатов с расчётной мощностью 468 тыс. кВт в течение 8760 часов целого года.

Важнейшей задачей для экономики региона в целом является обеспечение интегрированного или комплексного подхода к использованию имеющегося водно-энергетического потенциала. Оптимальное его освоение с учетом интересов каждой страны региона может и должно быть достигнуто на основе межгосударственного сотрудничества,

Итоговая мощность Нижне-Нарынского каскада ГЭС равная 1547 тыс. кВт , полученная при среднегодовой сработке воды Токтогульской ГЭС равной 390 м^3/с, коэффициентах полезного действия ГЭС равных 90 % и максимальных напорах ГЭС близка к техническому гидроэнергетическому потенциалу отдельного, выбранного участка реки Нарын от Токтогульской ГЭС до Уч-Курганской ГЭС по мощности равного 1620 тыс. кВт.

Большие мощность и производство электроэнергии Нижне-Нарынским каскадом ГЭС:

Мощность ТГЭС = 420 *170 * 9,81 * 0,90 = 630 390 кВт = 630 тыс. кВт.

Мощность четырёх ГЭС = 440 *220 * 9,81 * 0,90 = 854 647 кВт = 855 тыс. кВт.

Мощность Нижне-Нарынского каскада ГЭС = 630 + 855 = 1485 тыс. кВт.

Производство электроэнергии ТГЭС = 630 * 8760 * 0,75 = 4139 млн. кВт-ч / г.

Производство электроэнергии четырёх ГЭС = 855 * 8760 * 0,75 = 5617 млн. кВт-ч / г.

Производство электроэнергии Н-Н к ГЭС = 4139 + 5617 = 9760 млн. кВт-ч / г.

В бассейне реки Нарын находятся многочисленные водопотребители, главным из которых является Нижне-Нарынский каскад ГЭС, для которых прогноз притока воды в Токтогульское водохранилище является основным условием для разработки режима работы Нижне-Нарынского каскада ГЭС.

За период с 1886 года по 2018 год по метеостанции Нарын произошло увеличение количества осадков с 279 мм до 318 мм.

За период с 1974 года по 2018 год по метеостанции Нарын произошло увеличение количества осадков с 268 мм до 343 мм.

Тенденция увеличения водности связана с потеплением климата. Однако, динамика и темпы увеличения не на всех реках одинаковы и даже не всегда однозначны, что зависит от особенностей и аномалий каждой конкретной реки и её водосбора, на котором формируется сток этой реки.

В Кыргызстане самым наглядным и материальным проявлением процесса изменения климата является деградация ледников. В результате исследований выяснилось, что большинство ледников отступают с все возрастающей скоростью.

Моделирование возможной эволюции стока при прогнозируемых климатических изменениях по основному гидрологическому бассейну Кыргызстана и по всей Республике выполнено на основании расчётов произведённых Кузьмичёнок В.А [2].

Объёмные притоки воды в Токтогульском водохранилище при увеличении наземной температуры воздуха на 4,0 ^{0}С к 2030 году увеличатся на 365 млн. куб. м, а к 2050 году уменьшатся на 663 млн. куб. м и к 2100 году уменьшатся на 4374 млн. куб. м по сравнению с объёмным притоком принятым равным 13 251 млн. м^3 в 2000 году.

2. Режим эксплуатации водохранилищ нижне-нарынского каскада ГЭС

Водохранилища на реках стали неотъемлемой частью ландшафта хозяйственно освоенных территорий и отражают вмешательство человека в существовавшую тысячелетиями природную обстановку. С их созданием меняются гидрологический режим водотоков, микроклимат прилегающей зоны, рельеф местности, среда обитания животных и др., а также инфраструктура территории. Это связано с тем, что водохранилища как «звенья» процесса стока являются образованиями азональными, несвойственными тем природным условиям, в которых они создаются. Последствия создания водохранилищ многообразны, а их взаимодействия с окружающей средой имеют различные пространственные масштабы.

Зарегулирование стока рек водохранилищами вызывает глубокие преобразования природной среды в их нижнем течении, а также в устьевых частях рек, впадающих в водоемы. Преобразования природной среды в бассейнах рек ниже водохранилищ выражены достаточно индивидуально для каждой реки и зависят, прежде всего,

от физико-географических условий, режима регулирования (многолетний или сезонный) и характера использования зарегулированного стока.

На водохранилищах реки Нарын объем является в основном функцией напора, а не зеркалом воды. Изменения площади зеркала между НПГ и УМО на Токтогульском водохранилище составляют 40% .

Водохранилища регулируют сток реки, изменяют его распределение внутри года и по сезонам в нужном для хозяйственных целей режиме. Значительное влияние они оказывают на режим, характер твердого стока рек, а также на увеличение безвозвратных потерь в виде испарения с поверхности водохранилища, величина которого в условиях аридного климата довольно существенна.

Со строительством водохранилищ на реке Нарын твердый сток реки Сыр-Дарьи уменьшился в 10 раз, а осаждение наносов в чаше Токтогульского водохранилища привело к их уменьшению (даже в паводковый период) ниже водохранилища - в 30 раз. Если до 1974 года (до завершения строительства водохранилища) в нижнем течении реки Нарын расход наносов доходил до 2200 кг/с, то с его созданием он снизился до 70 кг/с.

В результате отстойных явлений в чаше Токтогульского водохранилища происходит значительное осветление воды. Так, если на входе в водохранилище средняя годовая мутность составляет 1500 г/куб. м, то ниже водохранилища - 57 г/куб. м, т е. уменьшается в 27 раз.

Водохранилища являются гигантскими отстойниками, задерживая значительную часть твердого стока реки. В нижний бьеф гидроузлов сбрасывается до 10% от всех поступающих наносов, а более 90 % остается в ложе водохранилища, что приводит к его заилению.

Сработка водохранилищ Нижне-Нарынскогокаскада ГЭС в многоводные годы приводит к катастрофическим ситуациям в годы более низкой водности. За период эксплуатации водохранилищ и работы ГЭС были действительно очень маловодные годы. Так, после маловодного1986 г. последовал многоводный 1987 год, который компенсировал предшествующее маловодье. Аналогичная картина наблюдалась и в последние 2008 и 2014 годы.

Токтогульское водохранилище - ирригационно-энергетического назначения. Крупнейшее водохранилище в Центральной Азии, позволяет осуществлять многолетнее регулирование стока и повысить гарантию водообеспечения на орошаемых площадях .

Средние годовые притоки воды к Токтогульскому водохранилищу и сработки воды из Токтогульского водохранилища за вегетационные периоды с 1975 по 2008 годы представлены [3] в таблице 2.

Таблица 2. Средние годовые притоки и сработки воды из Токтогульского водохранилища

Год	Приток, м³/с		Сработка, м³/с		Приток, млрд. м³		Сработка, млрд. м³	
	За год	За вегетацию	За год	За вегетацию	За год	За вегетацию	За год	За вегетацию
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1975	283	416	256	390	9	6,6	8,1	6,2

1976	298	446	309	487	9,4	7,1	9,8	7,7
1977	332	506	326	550	10,5	8	10,3	8,7
1978	381	602	260	445	12	9,5	8,2	7
1979	395	625	239	317	12,5	9,9	7,5	5
1980	340	526	322	445	10,7	8,3	10,2	7
1981	375	577	383	565	11,9	9,1	12,1	8,9
1982	266	372	438	673	8,4	5,9	13,9	10,6
1983	348	533	349	549	11	8,4	11	8,7
1984	349	539	347	514	11	8,5	11	8,3
1985	326	494	311	456	10,3	7,8	9,8	7,2
1986	300	448	350	553	9,5	7,1	11	8,7
1987	478	784	185	212	15	12,1	5,8	3,4
1988	522	851	387	557	16,5	13,5	12,2	8,8
1989	321	464	475	694	10,1	7,3	15	11
1990	412	648	368	449	13	10,2	11,6	7,1
1991	341	501	417	538	10,7	7,9	13,2	8,5
1992	381	572	386	415	12	9,1	12,2	6,6
Среднее	**358**	**550**	**339**	**489**	**11,31**	**8,68**	**10,72**	**7,74**
1993	433	671	336	279	13,6	10,6	10,6	4,4
1994	483	764	461	425	15,2	12,1	14,5	6,7
1995	345	498	464	400	10,9	7,9	15	6,3
1996	433	692	459	389	13,7	10,9	14,5	6,2
1997	343	512	434	512	10,8	8,1	13,7	6,1
1998	460	728	354	233	14,5	11,5	11,2	3,7
1999	459	696	427	321	14,5	11	13,5	5,1
2000	399	581	480	410	12,6	9,2	15,2	6,5
2001	397	588	448	374	12,6	9,3	14,2	5,9
2002	528	854	361	231	16,7	13,5	11,4	3,6
2003	496	759	451	312	15,7	12	14,2	4,9
2004	458	686	474	394	14,5	10,8	15	6,2
2005	433	653	448	326	13,7	10,3	14,2	5,1
2006	399	600	455	334	12,6	9,5	14,4	5,3
2007	371	564	484	370	11,7	8,9	15,3	5,8
2008	313	471	398	278	9,9	7,4	12,6	4,4
Среднее	**422**	**645**	**433**	**349**	**13,32**	**10,19**	**13,72**	**5,39**
Общее Среднее	**390**	**597**	**386**	**419**	**12,25**	**9,39**	**12,13**	**6,64**

С 1992 г. Токтогульская ГЭС работает в энергетическом режиме, что сопровождается значительными попусками воды в межвегетационный период и накоплением воды в вегетацию. Такой режим работы вызывал затопление сельхозугодий в нижнем течении реки зимой и острый дефицит воды летом, что наносило существенный ущерб сельхозпроизводству в Узбекистане и на юге Казахстана [4].

В процессе многолетнего регулирования стока реки Нарын Токтогульским водохранилищем можно выделить два характерных периода:

первый – 1975-1992 года – период централизованного управления и распределения водных ресурсов между Центрально-азиатскими республиками в союзный период;

второй – с 1993 года – потребность в водных ресурсах определялась на основе межправительственных соглашений и межотраслевых договоров между Центрально-Азиатскими республиками.

Средние месячные приток и сработка воды из Токтогульского водохранилища на начало его заполнения в 1975, 1976 годах показаны на рисунке 2.

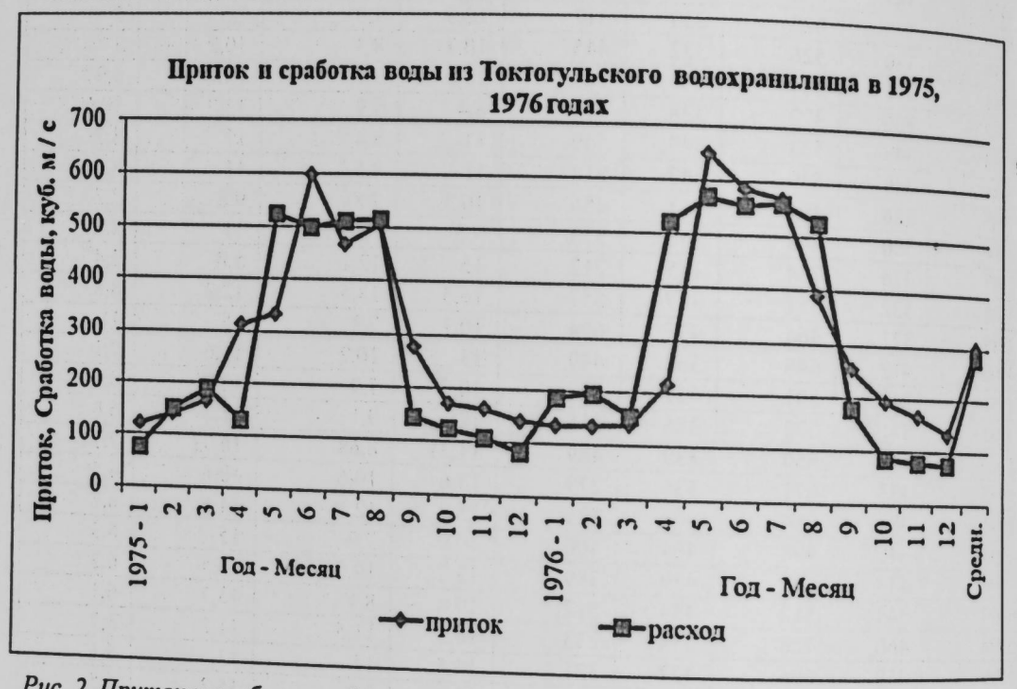


Рис. 2. Приток и сработка воды из Токтогульского водохранилища в 1975, 1976 годах.

Средние месячные приток и сработка воды из Токтогульского водохранилища в 2007, 2008 годах показаны на рисунке 3.2.



Рис. 3. Приток и расход воды из Токтогульского водохранилища в 2007, 2008 годах.

Среднемноголетний приток воды к Токтогульскому водохранилищу за период его эксплуатации (1975-2008 годы) составил 12.25 млрд. м^3, в том числе в вегетационный период 9.39 млрд. м^3, а в межвегетацию всего – 2.86 млрд. м^3. Сколько водпроходит через Токтогульскую ГЭС, столько воды потом идет по руслу реки через все остальные станции каскада — Курпсайскую, Ташкумырскую, Шамалдысайскую, Уч-курганскую. На каждой станции в специальных журналах постоянно регистрируется объем отпускаемой воды.

Холостой сброс воды на Токтогульском водохранилище производился в 2011 и 2012 годах. Это было связано с переизбытком воды - ее хватало для экспорта электричества в Казахстан. Велась неграмотная политика, можно было избежать сброса воды и оставить этот объем для маловодного периода, который наблюдался в 2014 году.

Перед выходом на территорию Узбекистана вода собирается в водохранилище Уч-Курганской ГЭС, от которого отходят два водных канала — единственные пути слива воды, которая использована для выработки электроэнергии.

Под влиянием регулирующего воздействия Токтогульского водохранилища максимальный сток на расположенные ниже по течению водохранилища значительно снижается. Снижение максимального стока зависит от регулирующей емкости водохранилища. Изменение же минимального стока зависит от многих факторов.

Анализ результатов расчетов показывает, что максимальный сток в реку Сырдарью после Нижне-Нарынских ГЭС по сравнению с условно - естественным периодом уменьшился в абсолютном значении, примерно в 2,5 - 3,0 раза. Амплитуда колебаний максимального стока понизилась от 1,70 до 3,49 раз по сравнению с амплитудой в условно-естественный период. Абсолютные значения максимального стока несколько понизились, так же уменьшилась амплитуда значений минимального стока.

Выявлены изменения и в сроках прохождения максимумов и минимумов расходов воды. В условно-естественный период и в большую часть периода наличия антропогенного воздействия (период наполнения водохранилища) наиболее ранняя дата прохождения максимума – 29 апреля, а наиболее поздняя – 11 августа.

В период изменения режима Токтогульской ГЭС даты прохождения максимумов сместились с теплого периода года на холодный. Ныне максимумы наблюдаются в период декабрь - февраль. Минимальные расходы в условно-естественный период наблюдались в январе-марте, в период наличия антропогенного воздействия в мае-сентябре.

Средние месячные и средние годовые сработки воды из Токтогульского водохранилища за 44 года с 1977 по 2020 годы представлены в таблице 3.

Таблица 3. Среднемесячные и среднегодовые сработки воды из Токтогульского водохранилища за 1977 - 2020 годы

	Сработка воды из Токтогульского водохранилища, м^3/с									
Месяц, Год	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
январь	101	23	187	232	165	246	219	229	207	199	153
февраль	206	89	152	322	245	232	191	238	160	131	178
март	237	95	178	162	179	205	190	228	168	242	134
апрель	240	192	123	214	287	285	388	226	104	331	84
май	602	291	109	258	649	750	630	615	301	595	79
июнь	799	680	238	530	790	880	692	763	681	602	103
июль	943	645	500	711	820	999	819	884	774	898	588

август	519	683	588	640	563	865	614	462	702	706	270
сентябрь	183	172	336	310	269	242	135	123	159	166	141
октябрь	68	80	200	165	180	173	93	68	191	79	156
ноябрь	3	1	113	129	173	166	71	66	115	94	145
декабрь	3	159	133	182	270	199	136	248	146	124	179
Среднее	**326**	**260**	**239**	**322**	**383**	**438**	**349**	**347**	**311**	**350**	**185**
Месяц, Год	**1988**	**1989**	**1990**	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**
январь	138	297	266	379	369	435	503	628	629	645	591
февраль	142	294	295	323	348	444	615	616	593	617	540
март	146	259	220	217	366	363	579	604	525	503	447
апрель	264	289	205	256	291	289	571	366	318	286	223
май	503	422	147	493	351	239	345	232	218	273	164
Июнь	816	1084	355	769	539	228	392	387	597	464	149
Июль	689	1140	872	856	529	324	410	809	522	633	286
август	426	907	855	583	527	325	410	409	477	480	329
сентябрь	263	308	240	261	245	266	425	190	203	164	244
октябрь	197	218	286	210	280	276	323	302	351	161	324
ноябрь	173	225	309	295	346	368	373	393	465	451	405
декабрь	146	235	344	355	430	478	593	627	615	534	551
Среднее	**326**	**475**	**368**	**417**	**386**	**336**	**461**	**464**	**459**	**434**	**354**
Месяц, Год	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
январь	635	673	617	629	632	610	674	696	712	834	504
февраль	574	676	684	593	640	530	684	631	660	815	496
март	552	533	503	525	600	503	422	490	633	445	443
апрель	428	331	344	318	407	344	361	389	309	295	332
май	222	356	245	218	217	273	254	226	250	215	205
Июнь	246	451	392	597	115	437	235	253	407	232	185
Июль	420	528	539	522	247	432	367	384	506	334	296
август	408	509	446	477	435	463	387	392	451	362	247
сентябрь	197	232	274	203	451	416	349	363	295	225	242
октябрь	299	385	318	351	472	452	454	391	394	269	410
ноябрь	540	470	392	465	564	568	573	552	512	365	414
декабрь	612	549	619	615	630	659	622	693	682	394	465
Среднее	**427**	**483**	**448**	**459**	**451**	**474**	**448**	**455**	**484**	**398**	**353**
Месяц, Год	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
январь	486	604	725	734	740	578	575	601	701	635	671
февраль	500	585	724	696	783	537	547	616	681	653	618
март	380	525	621	499	652	491	525	549	485	508	505
апрель	238	334	211	331	425	298	253	323	353	360	364
май	212	318	199	239	241	231	173	212	275	332	274
Июнь	163	346	333	207	228	217	196	344	293	287	313
Июль	257	437	367	250	232	309	198	697	362	365	376
август	716	438	380	332	284	228	314	533	336	345	341
сентябрь	469	296	287	223	216	157	206	376	283	264	278
октябрь	412	350	330	313	398	314	359	399	403	338	380
ноябрь	395	559	545	572	587	483	508	459	580	535	600
декабрь	536	718	717	680	615	566	562	635	622	637	700
Среднее	**397**	**459**	**453**	**372**	**450**	**367**	**368**	**479**	**448**	**438**	**451**



Рис. 4. Среднегодовые сработки воды из Токтогульского водохранилища

Установившийся режим сработки воды из Токтогульского водохранилища был начат с 1988 года.

Высокие требования к Токтогульскому водохранилищу, налагаемые, как в вегетационный период, так и в межвегетацию, особенно в течение последних лет, существенно отразились на несбалансированности использования водных ресурсов реки Нарын и полной сработке ранее созданных запасов воды в водохранилище.

Наименьший среднемесячный приток - 266 м^3/с был в 1982 году, а наибольший – 597 м^3/с был в 2010 году. Наименьшая среднемесячная сработка - 239 м^3/с была в 1979 году, а наибольшая – 484 куб. м/с была в 2007 году. Наименьшие притоки и сработки в два раза меньше наибольших средних месячных по годам притоков и сработок воды из Токтогульского водохранилища. Наблюдается увеличение наименьших и наибольших средних месячных по годам сработок воды из Токтогульского водохранилища от каждого до следующего семилетнего периода.

Графики среднесезонных и среднегодовых сработок воды из Токтогульского водохранилища через плотину Токтогульской ГЭС построены на основании информации полученной из ОАО «Электрические станции» Кыргызской Республики.[1].

Для построения графиков **сезонных** сработок воды через Токтогульскую ГЭС были использованы среднемесячные сработки воды. Зимний сезон включал декабрь месяц предыдущего года и январь, февраль месяцы записанного года.

Расходы воды за три зимних и три весенних месяца показаны на графиках 5.



Рис.5. Сезонные по три месяца сработки воды через Токтогульскую ГЭС.

Сработки воды через Токтогульскую ГЭС за три летних и три осенних месяца показаны на графиках 3.5.



Рис. 6. Сезонные по три месяца сработки воды через Токтогульскую ГЭС.

Зимние средние (по три месяца) сработки воды через Токтогульскую ГЭС с 1976 по 1988 год были в пределах 450…600 м^3/с. В 1991 год они достигли 1046 куб. м/с и увеличились до 2331 м^3/с в 2008 году. Средние зимние трёхмесячные сработки воды через Токтогульскую ГЭС с 1976 по 2016 год составили 1320 м^3/с.

Летние средние по три месяца сработки воды через Токтогульскую ГЭС с 1976 по 1991 год были в пределах 1326…2208 м^3/с. В 1993 году они уменьшились до 877 куб. м/с и за весь последующий период не превышали 1605 куб. м/с в 1995 году. Средние летние сработки воды через Токтогульскую ГЭС с 1976 по 2016 год были 1488 м^3/с.

Весенние средние по три месяца сработки воды через Токтогульскую ГЭС с 1991 по 2016 год изменялись от 1495 куб. м/с в 1994 году до 778 м^3/с в 2016 году. Средние весенние сработки воды через Токтогульскую ГЭС с 1976 по 2016 год были 998 м^3/с.

Осенние средние по три месяца сработки воды через Токтогульскую ГЭС с 1991 по 2016 год изменялись от 766 м^3/с в 1991 году до 1662 куб. м/с в 2012 году. Средние осенние сработки воды через Токтогульскую ГЭС с 1976 по 2016 год были 877 куб. м/с.

Материалы анализа официальных данных свидетельствуют, что приток воды в Токтогульском водохранилище составил: в 2011 г. – 13, 382 млрд. м^3, в 2012 г. – 12, 529 млрд. м^3, в 2013 году – 12, 089 млрд. м^3.

В сумме за период с 2011 по 2013 годы приток превысил среднемноголетний показатель на 2 млрд. куб. м, в силу чего 2011, 2012 и 2013 годы не могут считаться маловодными. Приток воды в 2014 году составил 10,453 млрд. куб. м, что меньше среднемноголетнего показателя всего лишь на 1,5 млрд. куб. м и не может быть причиной катастрофического малого объёма воды в Токтогульском водохранилище на 2015 год.

Главной и основной причиной энергетического кризиса явилась ежегодная, в течение 2011 - 2014 годов сработка воды из Токтогульского водохранилища в объёмах, превышающих среднемноголетний показатель в 12 млрд. м^3. В 2011 году израсходовано 14,472 млрд. м^3 (на 2,472 млрд. м^3 больше), в 2012 году - 14,338 млрд. м^3 (на 2,238 млрд. куб. м больше), в 2013 году - 13, 283 млрд. м^3 (на 1,283 млрд. м^{3}больше), в 2014 году - 14, 245 млрд. м^3/с м^3/с (на 2,245 млрд. куб. м больше), а в сумме за четыре года – на 8,338 млрд м^{3}больше, чем разрешено проектом Токтогульского водохранилища [56]..

Таким образом, Токтогульское водохранилище потеряло своё основное назначение как накопитель и регулятор основных гидроэнергетических ресурсов страны.

На 1 апреля 2014 г. (дата завершения осенне-зимнего периода) объем воды в Токтогульском водохранилище составил 9,01 млрд. куб. метров.

В межвегетационный период 2013-2014 годов (октябрь 2013 года – март 2014 года) поступление воды в Токтогульское водохранилище составило 2893,3 млн. м^3, а расход – 9791,7 млн. м3. При этом поступление воды по сравнению с межвегетационным периодом 2012-2013 гг. уменьшилось на 51,8 млн. м^3, а расход увеличился на 583,9 млн. куб. метров. Увеличение расхода связано с увеличением выработки электроэнергии на внутреннее потребление.

Таблица 4. Объёмы притока воды и сработки воды Токтогульского водохранилища за установившийся период эксплуатации с 1988 года по 2020 год.

Год	Приток	Сработка	Год	Приток	Сработка	Год	Приток	Сработка
1988	16,5	12,2	1999	14,5	13,5	2010	19,4	12,5
1989	10,1	15	2000	12,6	15,2	2011	13,5	14,5
1990	13	11,6	2001	12,6	14,2	2012	12	14,3
1991	10,7	13,2	2002	16,7	11,4	2013	11,8	13,3
1992	12	12,2	2003	15,7	14,2	2014	10	14,2

1993	13,6	10,6	2004	14,5	15	2015	13,5	11,6
1994	15,2	14,5	2005	13,7	14,2	2016	15,6	10,6
1995	10,9	15	2006	12,6	14,4	2017	17	15,09
1996	13,7	14,5	2007	11,7	15,3	2018	13,17	14,08
1997	10,8	13,7	2008	9,9	12,6	2019	11,96	13,79
1998	14,5	11,2	2009	14,3	10,7	2020	11,67	13,65
Сред	12,82	13,06	Сред	13,53	13,7	Сред	13,6	13,42

За период с 1988 года по 2020 год средний годовой приток воды в Токтогульское водохранилище составляет 13,32 млрд. м^3, а сработка воды - 13,39 млрд. м^3.



Рис. 7. Объёмы притока воды и сработки воды Токтогульского водохранилища за период эксплуатации с 1988 года по 2020 год.

Заключение

По результатам анализа можно сделать вывод, что главная причина наступившего энергетического кризиса кроется, прежде всего, в неоптимальной сработке воды Токтогульского водохранилища.

Причины энергетического кризиса кроются в геополитической и экономической сферах деятельности руководителей энергетической отрасли. Токтогульское водохранилище, как гидротехническое сооружение многолетнего регулирования не должно быть коммерциализировано в эксплуатации.

Режим сработки Токтогульского водохранилища зависит от соотношения двух параметров: объема естественного притока воды в водохранилище и объема воды, используемого на выработку электроэнергии на Токтогульской ГЭС.

Внутригодовое распределение стока в первую очередь зависит от изменения в течение года осадков, температуры воздуха и испарения.

Наблюдается увеличение средних годовых и средних месячных по годам сработок воды из Токтогульского водохранилища.

Среднегодовая сработка воды из Токтогульское водохранилища с 1975 по 2016 год составила 12,2 млрд. м^3. Среднегодовой приток воды в Токтогульское водохранилище с 1975 по 2016 год составил 12,5 млрд. м^3.

Среднегодовые наибольшие сработки воды из Токтогульское водохранилища наблюдаются на следующий год после наибольших притоков в водохранилище.

Среднегодовые притоки и сработки воды из Токтогульское водохранилища в период с 1988 по 2016 год изменяются в интервале от 10 до 15 млрд. м^3.

Средние годовые притоки и сработки воды из Токтогульского водохранилища за девятилетний период 1975…1983 годы составили 10,6 и 10,1 млрд. м^3 соответственно. За годы 1984…1992, 1993…2001 и 2002…2008 годы наблюдается периодический прирост притока до 12,25 млрд. м^3 и сработки до 12,13 млрд. м^3 воды из Токтогульского водохранилища. Существенно то, что прирост расходов воды от периода к следующему периоду больше соответствующего прироста притока воды в Токтогульское водохранилище.

Объем воды в Токтогульском водохранилище зависит от количества осадков в бассейне реки Нарын в зимнее время года, естественного притока воды и объема воды, используемой на выработку электроэнергии. На период половодья реки Нарын с апреля по сентябрь приходится 3/4 годового стока воды [7-10]..

Список использованных источников

1. Пресс-служба ОАО «Электрические станции» Кыргызской Республики
2. Кузьмичонок В.А. Оценка возможной эволюции водоотдачи ледников и стока в Кыргызстане различной обеспеченности при прогнозируемых климатических изменениях. Проект ЕС/ПРООН Содействие ИУВР и Трансграничному Диалогу в Центральной Азии. Бишкек, 2011, 71 с.
3. Маматканов Д.М., Бажанова Л.В., Романовский В.В. Водные ресурсы Кыргызстана на современном этапе. – Бишкек: 2006. – 265 с.
4. Национальный статистический комитет Кыргызской Республики, Бишкек, 2020
5. Материалы Агентства по гидрометеорологии при МЧС КР. – Бишкек
6. Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики. Книга 3. Каскады ГЭС – Энергетика: история, настоящее, будущее.
7. Наврузов С.Т. Моделирование и управление водными ресурсами. – Душанбе: «Эргаф», 2013. – 280 с.
8. Большаков М.Н., Шпак В.Г. Водноэнергетические ресурсы Киргизской ССР. Издательство АН Киргизской ССР, Фрунзе 1960, 254 с.
9. Карамолдоев Ж.Ж., Калашникова О.Ю. Прогноз притока воды в Токтогульское водохранилище в вегетационный период. ЦАИИЗ, г.Бишкек.
10. Ерохин С.А. Степень влияния глобальных измений климата на водные ресурсы Кыргызстана. Ekois.net

РАЗРАБОТКИ

Института водных проблем и гидроэнергетики, имеющие государственное значение

- «Концепция государственной национальной политики Кыргызской Республики в области использования трансграничных водных ресурсов».
- «Стратегия национальной политики Кыргызской Республики по использованию трансграничных водных ресурсов».
- Экономические механизмы управления трансграничными водными ресурсами при межгосударственном использовании.
- «Концепция ценообразования в водопользовании в условиях рыночной экономики».
- Стратегия придания воде как природному ресурсу статуса товара с тарификацией ее стоимости на всех этапах водораспределения и потребления».
- Экономическая оценка воды как природного ресурса Кыргызской Республики. Методика определения тарифа на воду как природный ресурс.
- Технико-экономическое обоснование строительства каскада ГЭС на реке Сары-Джаз.
- Разработка научных основ мониторинга оледенения Тянь-Шаня и Памира в условиях изменения климата.
- «Перспективы социально-экономического развития Джеты-Огузского района на основе рационального использования водных и водно-энергетических ресурсов».
- «Водно-энергетическое обеспечение Куланакской долины», позволяющее улучшить энергоснабжение и обеспечить стабильную подачу воды на орошаемые земли Куланакского района.
- Электронные карты различной тематической направленности: бассейн оз. Иссык-Куль, ледники Кыргызстана, среднегодовая температура воздуха Кыргызстана, средняя многолетняя сумма атмосферных осадков, средний многолетний слой испаряемости, модуль стока Кыргызстана, гидроэнергетический потенциал р. Сарыжаз, процессы подтопления в Чуйской впадине и мн.др.



ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ И ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

Институт образован в 1992 году. Деятельность института ориентирована на проведение фундаментальных научных исследований и прикладных разработок, которые в Республике ранее не осуществлялись и имеют приоритетное значение для экономического развития Кыргызстана и Центрально-Азиатских Государств в области рационального использования водного и водно-энергетического потенциалов.

В Институте функционируют 6 лабораторий, Тянь-Шаньский высокогорный научный центр, в 2014 г. создан Ала-Арчинский полигон по изучению опасных гидрологических процессов.

Основными направлениями деятельности Института являются изучение региональных закономерностей формирования, режима, распределения, взаимосвязи поверхностных и подземных вод, оценка водных и гидроэнергетических ресурсов Иссык-Кульской и Чуйской областей и их динамика на фоне глобального изменения климата; разработка научных основ рационального использования, охраны водных и гидроэнергетических ресурсов; ценообразование в водопользовании; разработка оптимальных режимов работы комплексных водно-энергетических объектов; научная оценка комплексного использования и экологической безопасности водных ресурсов; создание систем информационного обеспечения для управления водными и земельными ресурсами; гляциология, биогеография, береговые процессы, экология высокогорья; мониторинг прорывоопасности высокогорных озер и ледников.

Институт по состоянию на 2021 г., ведет исследования по теме «Анализ возможностей прогнозирования и управления водно-энергетическими ресурсами Кыргызстана в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки», в следующих направлениях:

- Оценка и уточнение стока рек Кыргызстана в условиях изменения климата;
- Изучение развития опасных экзогенных гидрогеологических процессов Тянь-Шаня;
- Разработка и обоснование схем управления подземными водами восточной части Чуйской долины на основе нестационарных геофильтрационных моделей;
- Исследование гидроэнергетических потенциалов рек бассейнов озера Иссык-Куль и реки Чу в условиях изменения климата;
- Создание геоинформационной системы для мониторинга водо-земельных ресурсов Кыргызстана на основе дистанционного зонлирования;
- Эколого-географические особенности устойчивого развития речных бассейнов Кыргызстана в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки;
- Комплексное изучение динамики физико-геграфических процессоввысокогорных зон Кыргызского Тянь-Шаня и Памиро-Алая;

ТЯНЬ-ШАНСКИЙ ВЫСОКОГОРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

Тянь-Шанский высокогорный научный центр (ТШВНЦ) является преемником бывшей Тянь-Шанской физико-географической станции (ТШФГС), созданной в 1948 году, и выполняет комплексные географические исследования, целью которых является изучение физико-географических процессов в их динамике и развитии. Научная база ТШВНЦ находится в с. Кызыл-СууЖети-Огузского района Иссык-Кульской области. В настоящее время в ТШВНЦ работают следующие 3 лаборатории: гляциологии, береговых процессов, биогеографии.

Периоды наблюдений и исследований ТШВНЦ.

1. ***Метеорологические*** *с 1948 г.-* по настоящее время.
2. ***Гляциологические*** *1956-1997гг., с 2007 г-* по настоящее время.
3. ***Гидрологические*** *1954-1990 гг., с 2013 г-* по настоящее время.
4. ***Палеогляциологические исследования*** *- с 2008 г* по настоящее время.
5. ***Палинологические исследования*** *- с 2014 г* по настоящее время.

6. ***Спутниковая калибровка уровня озера Иссык-Куль - с 2008 г по настоящее время.***

7. ***Моделирование динамики ледников Внутреннего Тянь-Шаня и гидрологического баланса бассейна р. Чон-Кызыл-Суу- с 2015 г. по настоящее время.***

8. ***Изучение влияние леса на водный режим и проблемы естественного восстановления еловых лесов Тянь-Шаня и пути их решения- с 2018 г. по настоящее время.***

Полностью восстановлена прежняя инфраструктура ТШФГС и созданы новые площадки для наблюдений и изучений. Основным районом комплексных изучений является бассейн р. Чон-Кызыл-Суу. Основным объектом гляциологического мониторинга являются опорные ледники Кара-Баткак (Тескей Ала-Тоо), Сары-Тор (массив Акшыйрак) и Борду (массив Акшыйрак).

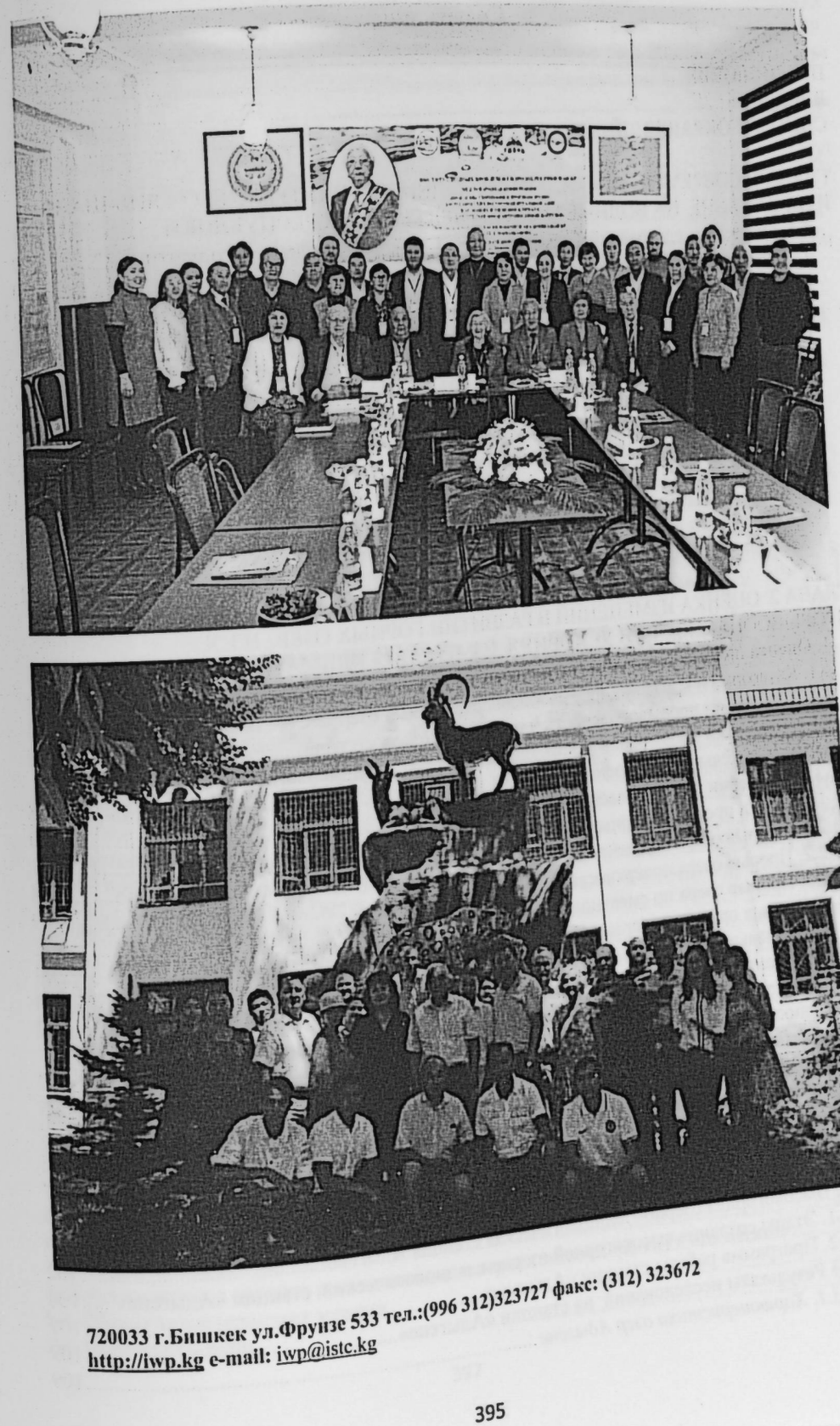
В связи с глобальным потеплением (начавшимся в середине 19 столетия) оледенение на территории Кыргызской Республики (КР), равно как и всей Центральной Азии (ЦА), интенсивно распадается. Только за последние 70 лет площадь оледенения КР уменьшилась на 16%.



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ЭКОЛОГИИ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ (г.БИШКЕК)

Учреждение «Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды Центральной Азии (г. Бишкек)» занимается проведением фундаментальных и прикладных исследований в области естественных и технических наук. ЦельУчреждения состоит в содействии развития научных исследований по экологии и окружающей среды Центральной Азии. Основными направлениями научной деятельности НИЦЭОС ЦА (Бишкек) являются: фундаментальные и прикладные научные исследования в области экологии и окружающей среды, изменении климата, географии, геологии и природных ресурсов, сельского хозяйства и информационной технологии. Проводит работы по обеспечению научно-техническими консультативными услугами по управлению естественными экологическими системами и охраной окружающей среды в рамках Шанхайской организации сотрудничества.

Кыргызстан, г.Бишкек 720040, ул.Эркиндик 30 e-mail: rceeca.bishkek@gmail.com



720033 г.Бишкек ул.Фрунзе 533 тел.:(996 312)323727 факс: (312) 323672
http://iwp.kg e-mail: iwp@istc.kg

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ 4
ВВЕДЕНИЕ 5
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 6

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕДНИКОВ ВНУТРЕННЕГО ТЯНЬ-ШАНЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ 7
1.1. Объекты исследований Тянь-Шанского высокогорного научного центра 7
1.2. Методы гляциогидрометеорологических наблюдений 9
1.2.1. Методы оценки баланса массы ледников на примере ледника Кара-Баткак 12
1.3. Особенности климатических изменений в Иссык-Кульской котловине 13
1.3.1. Температура воздуха 13
1.3.2. Влажность воздуха 15
1.4. Влияние климата на состояние ледников (на примере ледника Кара-Баткак) 18
1.4.1. Многолетний мониторинг ледников 18
1.4.2. Аккумуляция 19
1.4.3. Абляция 22
1.4.4. Баланс массы ледника 33
1.4.5. Колебания фронтальной линии и сокращение ледника 39
1.5. Ледниковый сток 42

ГЛАВА 2. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ В РАЗВИТИИ ГОРНЫХ ОЗЕР, И ИХ ПРОРЫВООПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА 51
1. Оценка прорывоопасности горных озер 51
1.1. Категории и критерии прорывоопасности горных озер 51
1.1.1. Критерии прорывоопасности для озер ледникового типа 51
1.1.2. Критерии прорывоопасности для озер моренно-ледникового, моренно-ригельного и моренного типов 57
1.1.3. Критерии прорыв опасности завальных озер 58
1.2. Модели прорывов горных озер. Определение расхода прорывного потока 60
1.2.1. Прорыв озера подземным путем 61
1.2.2. Прорыв озера поверхностным путем 64
1.2.3. Прорыв озера по смешанному варианту 69
1.3. Селевая опасность горных озер 71
1.3.1. Селевые очаги 73
1.3.2. Оценка селевой активности горных долин 74
1.3.3. Оценка влияния современного моренообразования на селевую активность горных долин 82
1.4. Методика определения зоны селе-паводкого поражения 87
1.4.1. Определение расхода потока, формирующего зону поражения 95
1.4.2. Определение высоты прорывного потока 95
1.4.3. Определение ширины и границ зоны поражения 96
2. Мониторинг прорывоопасности горных озер 97
2.1. Мониторинг прорывоопасных высокогорных озер 99
2.2. Высокогорная озерно-гляциологическая станция Адыгене 99
2.2.1. Этапы создания высокогорной озерно-гляциологической станции «Адыгене» 102
2.2.2. Программа работы станции «Адыгене» 103
2.2.3 Результаты исследований на станции «Адыгене» 107
2.2.3.1. Характеристика озер Адыгене 109

2.2.3.2. Этапы периода наполнения ванн озер Адыгене 113
2.2.3.3. Зависимость прорывоопасности озер от наполнения их ванн 115
3. Источники формирования стока горных рек, наполняющих горные озера 119
3.1. Оценка влияния погребенных льдов на сток рек Северного Тянь-Шаня 119
3.2. Возможности использования неравновесного урана при изучении формирования стока горных рек 128
3.2.2. Особенности формирования стока бассейна р. Ала-Арча по неравновесному урану 134
3.2.3. Радиоэкологические и инженерно-геологические особенности формирования стока бассейнов рек Нарын-Карадарья-Сырдарья 144
4. Водные опасные экзогенные процессы в Кыргызстане 150

ГЛАВА 3. МОНИТОРИНГ И ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД 162
2.2. Предлагаемый метод оценки уязвимости подземных вод, Ψ индекс 171
2.3. Использование Ψ индекса для оценки уязвимости водоносных горизонтов Чуйской долины 175

ГЛАВА 4. КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ РЕК ЧУЙСКОГО, ИССЫК-КУЛЬСКОГО И НАРЫНСКОГО БАССЕЙНОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 180
1. Гидрологическая изученность 181
2. Определение расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений 183
2.1. Метод приведения рядов гидрологических характеристик и их параметров к многолетнему периоду 183
3. Восстановление средних годовых расходов воды 185
3.1.2. Реки - правые притоки р. Чу 188
3.1.3. Реки - левые притоки р.Чу, стекающие с северного склона Кыргызского хребта 189
3.2. Иссык-Кульский бассейн 193
3.2.1. Восточная часть бассейна - реки Тюп и Джергалан 194
3.2.2. Группа – реки, стекающие с северного склона хр. Тескей-Ала-Тоо 198
3.2.3. Реки, стекающие с южного склона хребта Кунгей-Ала-Тоо 201
3.3. Нарынский бассейн 203
3.3.1. Участок от слияния рек Чон-Нарын и Кичи-Нарын до г.Нарын 203
3.3.2 Участок реки от гидропоста «г.Нарын» до гидропоста «с. Учтерек» и приток в Токтогульское водохранилище 206
4. Восстановление средних расходов воды за период половодья (IV-IX) и его месяцы 210
4.1. Чуйский бассейн 210
4.1.2. Реки – правые притоки р.Чу 212
4.1.3. Реки - левые притоки р.Чу, стекающие с северного склона Кыргызского хребта 213
4.2. Иссык-Кульский бассейн 214
4.2.1. Реки восточной части бассейна - Тюп и Джергалан 215
4.2.2. Реки, стекающие с северного склона хребта Тескей-Ала-Тоо 218
4.2.3. Реки, стекающие с южного склона хребта Кунгей-Ала-Тоо 220
4.3. Нарынский бассейн 223
4.3.1. Участок от слияния рек Чон-Нарын и Кичи-Нарын до гидропоста г.Нарын 223
4.3.2. Участок реки от гидропоста «г.Нарын» до гидропоста «с.Учтерек» и приток в Токтогульское водохранилище 225
5. Восстановление средних расходов воды за период межени (X-III) и его месяцы 226
5.1. Общая характеристика межени 226
5.2. Чуйский бассейн 228

5.2.1. Реки верховья бассейна р.Чу, Кочкорская впадина 228
5.2.2. Реки правые притоки р. Чу 230
5.2.3. Реки левые притоки р.Чу, стекающие с северного склона Кыргызского хребта....231
5.3. Иссык-Кульский бассейн....234
5.3.1. Группа рек – восточная часть бассейна - реки Тюп и Джергалан....234
5.3.2. Реки, стекающих с северного склона хребта. Тескей-Ала-Тоо....236
5.3.3. Реки, стекающие с южного склона хребта Кунгей-Ала-Тоо....239
5.4. Нарынский бассейн....241
5.4.1. Участок от слияния рек Чон- и Кичи-Нарын до гидропоста г.Нарын....241
5.4.2. Участок реки от гидропоста «г.Нарын» до гидропоста «с. Уч-Терек» и приток в Токтогульское водохранилище....244

ГЛАВА 5. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНЫХ СИСТЕМ КЫРГЫЗСКОГО ТЯНЬ-ШАНЯ....249
1. Климатические условия горных экосистем пилотных бассейнов рек Северного и Центрального Тянь-Шаня....250
1.1. Современный климат и тенденции его изменения на примере пилотных бассейнов рек Чон-Кызыл-Суу, Сары-Джаз и Ала-Арча....250
1.1.1. Бассейн р. Чон-Кызыл-Суу....251
1.1.2. Бассейн реки Сары-Джаз 254
1.1.3. Бассейн реки Ала-Арча....261
2. Геоморфологические и эдафические условия формирования горных экосистем Тянь-Шаня 270
2.1. Геоморфология горных экосистем Северного Тянь-Шаня....270
2.1.1. Геоморфология горных экосистем Прииссыккулья....271
2.2. Почвы горных экосистем Северного Тянь-Шаня....272
2.2.1. Почвы бассейна реки Чон-Кызыл-Суу 273
3. Современное состояние растительного покрова горных экосистем Северного и Центрального Тянь-Шаня....279
3.1. Растительный покров Прииссыккулья 279
3.1.1. Растительный покров экосистем бассейна реки Чон-Кызыл-Суу....284
3.2. Растительный покров экосистем хребта Кыргызский Ала-Тоо 286
3.2.1. Растительный покров экосистем бассейна реки Ала-Арча 287
3.3.1. Растительный покров экосистем бассейна реки Куйлю 292
4. Геоэкологическая оценка горных экосистем....295
4.1. Экологическая шкала индикаторных растений бассейна р. Чон-Кызыл-Суу по степени увлажнения территории 295
4.2. Экологическая шкала индикаторных растений бассейна р. Сары-Джаз по степени увлажнения территории....300
4.3. Экологическая оценка растительного покрова горных экосистем бассейна реки Сары-Джаз и бассейнов рек Прииссыккулья....303
5. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Бишкек от стационарных и передвижных источников....305
5.1. Методы и результаты исследований....306
5.2. Рекомендации по уменьшению загрязнения окружающей среды г. Бишкек....313

ГЛАВА 6. РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА МЕТОДОМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВОДОЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ СЕВЕРНОГО КЫРГЫЗСТАНА 320
1. Расчет сельскохозяйственного индекса NDVI....321
1.2. Индекс NDVI 324

2. Создание цифровых моделей рельефа на основе открытых данных дистанционного зондирования земли....332
2.1. Материалы и методы исследования 333
3. Изменение акватории оз. Иссык-Куль 345
3.1. Определения водного индекса NDWI на базе программного обеспечения в ArcGIS 346
4. Изменение площади ледника Лысый во времени 350
5. Результаты съемки местности на базе беспилотно летательного аппарата (БПЛА) 359
5.1. Материалы и методы 362
5.2. Цифровая модель изогипс (горизонталь) оз. Туз-Көл 365
6. Векторизация пространственных данных на примере орошаемых земель восточной части котловины оз. Иссык-Куль Кыргызской Республики....370

ГЛАВА 7. ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ 377
1. Характеристики нижне-нарынского каскада ГЭС 377
2. Режим эксплуатации водохранилищ нижне-нарынского каскада ГЭС 381
РАЗРАБОТКИ 392

ВОДНЫЕ И ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ КЫРГЫЗСТАНА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Редактор: Загинаев В. В.
Корректор: Тузова Т.В.
Верстка, дизайнер: Мураталиев Д.

Подписано в печать 25.02.2022 г. Бумага офсетная.
Формат 70x100 1/16. Объем: 25,0 физ. п. л. Тираж 300 экз.

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе «Принт Экспресс»
г. Бишкек, ул. Профсоюзная, 49