

**ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ
(ЦАИИЗ)**

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

БИШКЕК 2016 г.

УДК 551.8+551.244

ББК

Д

Монография рекомендована к изданию

Ученым Советом и Наблюдательным Советом ЦАИИЗ.

Рецензенты:

Доктор геол-мин. наук, проф. И.С. Садыбакасов;

Доктор геол-мин. наук, проф. К.А. Кожобаев.

Отв. редакторы: кандидат геол-мин. наук., Доктор Б.Д. Молдобеков и

Доктор физики и минералогических наук И. Лаутерюнг

«ДИСТАЦИОННЫЕ И НАЗЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ».

Б.Д. Молдобеков Ш.Э. Усупаев, А.В. Зубович, А.Н. Мандычев, Р.А. Усубалиев, Л.Ы. Жолдубаева, З.А. Кальметьева, А.Г. Шабунин, Ю.А.Подрезова, О.Ю.Калашникова и др. “Бишкек.: Изд-во «City Print», 2016. 216 с.

В монографии представлены результаты современных прикладных дистанционных и наземных исследований Земли полученных на основе созданной и функционирующей новейшей сети мониторинга за изменениями природной среды на примере территории Кыргызского Тянь-Шаня и трансграничных районов со странами Центральной Азии.

В работе приведены результаты исследований по приоритетным направлениям: мониторинговые сети, геодинамика и геокатастрофы, климат вода и геоэкология, геобаза данных и IT инфраструктура, а так же информация по научно-образовательному потенциалу в странах Центральной Азии. Предлагаемый в работе материал охватывает период до 2014г.

Книга рассчитана на широкий круг молодых ученых и специалистов интересующихся проблемами наук о Земле в регионе Центральной Азии.

Библиогр. 152 назв. Рис. 180. Табл. 10.

УДК 551.8+551.244

ББК

@Коллектив авторов, 2016

ISBN

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ (Б.Д. Молдобеков, Х. Райгбер, В.Н. Михайлев)

ВВЕДЕНИЕ (Б.Д. Молдобеков, Й. Лаутерюнг)

ГЛАВА 1. ГЕОДИНАМИКА И ГЕОКАТАСТРОФЫ

1.1. Предварительные геолого-геофизические исследования бассейна р. Сары-Джаз

1.1.1. Обоснование выбора площади исследования и геологическая изученность района (А.В. Миколайчук, Б.Д. Молдобеков)

1.1.2. Описание геоморфологии, режима новейших тектонических движений и связанных с ними опасных природных процессов (Ш.Э. Усупаев, Ч. Ормуков)

1.1.3. Сейсмичность района и современные движения (А.В. Зубович, З.А. Кальметьева, О.И. Мосиенко)

1.2. Исследования динамики развития оползней

1.2.1 Оползни Татыр, Майли-Суу, Гульча, Мин-Куш (А.Н. Мандычев, А.С. Дудашвили, А. Детушев, А.Г. Шабунин, Э.А. Азисов, О.И. Мосиенко, У.А. Абдыбачиев)

1.2.2 Оползни Алайского района (У.А. Абдыбачиев, Ж.Э. Усупаев)

1.3. Оползни, сейсмичность и геодинамика Тянь-Шаня

1.3.1. Оползни Чуйской и Ферганской впадин и их горных обрамлений. (З.А. Кальметьева, Б.Д. Молдобеков)

1.3.2. Анализ времени активизации оползней (З.А. Кальметьева, Б.Д. Молдобеков)

1.4. Нурынское землетрясение 2008 г., $M=6.6$, $I_0=8$ баллов

1.4.1. Полевое обследование (А.В. Мелешко, Ш.Э. Усупаев, В.Н. Михайлев)

1.4.2. Структурное положение по данным геологии, сейсмологии и GPS наблюдений (А.В. Зубович, З.А.Кальметьева, А.В. Миколайчук)

1.4.3. Результаты дистанционного исследования (К.Тешебаева, *H. Sudhaus, H. Echter, M. Motagh, S. Roessner, B.Schurr, U. Wetzel*)

1.5. Особенности пространственно-временного распределения сильных землетрясений Центральной Азии (З.А. Кальметьева, Б.Д. Молдобеков)

1.6. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов

1.6.1. Город Бишкек (D. Bindi, S. Parolai, M. Pilz, Б.Д. Молдобеков, С.Ж.Орунбаев, Ж.А. Токмулин, Ш.Э. Усупаев)

1.6.2. Город Каракол (D. Bindi, S. Parolai, M. Pilz, С.Ж. Орунбаев, Ш.Э. Усупаев)

ГЛАВА 2. КЛИМАТ И ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

2.1. Исследования климатических изменений

2.1.1 Сравнительный анализ результатов измерений автоматических метеостанций с данными традиционных типовых метеоприборов. (Ю.А. Подрезова., А.О. Подрезов, А.Г. Шабунин, А.Н. Мандычев)

2.1.2. Оценка площадей заснеженности по высотным зонам с использованием ГИС технологий и дистанционного зондирования. (Ю.А. Подрезова)

2.1.3. Анализ климатических изменений в бассейне озера Иссык-Куль (А.Г. Шабунин)

2.1.4. Оценка современного режима температуры поверхности озера Иссык-Куль по данным MODIS/TERRA (А.Г. Шабунин)

2.1.5 Мониторинг атмосферной пыли (А.Шабунин, Э. Азисов, Г. Шеттлер)

2.2. Комплексное изучение динамики горных ледников

2.2.1. Исследования ледника Энилчек (Р.А. Усубалиев, Э.А. Азисов, А. Осмонов, А.Г. Шабунин, А.С. Дудашвили, А.Н. Мандычев, М. Дайыров)

2.2.2. Геофизические исследования перемычки подпрудно-ледникового озера Мерцбахера. (И.А. Торгоев, Б. Оморов, А. Торгоев, S. Burette)

2.2.3. Измерения сейсмических шумов на леднике Южный Энилчек в районе высокогорного прорывоопасного озера Мерцбахера. (Ш.Э. Усупаев, С.Ж. Орунбаев, Т. К. Коноков)

2.2.4. Магнитометрические исследования на участке слияния ледников Южный и Северный Энилчек в районе озера Мерцбахера. (А.Э. Шакиров, Ш. Э. Усупаев, Р.А. Усубалиев)

2.2.5. Исследования ледников Абрамова, Голубина, Адыгене, Петрова и Карабаткак. (Р.А. Усубалиев, Э.А. Азисов., А.Н.Мандычев)

2.3. Исследование изменения режима рек, озер, водохранилищ и подземных вод

2.3.1. Прогноз притока воды в Токтогульское водохранилище на вегетационный период. (О.Ю. Калашникова, Ж.Дж. Карамолдоев)

2.3.2. Изменение многолетних климатических характеристик и стока в верховьях реки Нарын в вегетационный период. (О.Ю. Калашникова)

2.3.3. Изменение годового стока рек озера Иссык-Кульского бассейна за многолетний период. (О.Ю. Калашникова)

2.3.4. Оценка переноса и распределения взвешенных наносов в бассейне Токтогульского водохранилища. (А.Г. Шабунин, А.Н. Мандычев, А.С. Дудашвили, Э.А. Азисов, О.И. Мосиенко, А.Детушев)

ОГЛАВЛЕНИЕ

2.3.5. Мониторинг и оценка прорывоопасности озер северного склона Терской Ала-Тоо и Кыргызского хребта. (М.Дайыров)

2.3.6. Исследования колебаний уровня подземных вод в Чуйской впадине. (А.Н. Мандычев)

2.3.7. Анализ спутниковых изображений Landsat 8 дешифрованных с целью картографирования водных и наземных объектов бассейна озера Иссык-Куль. (А.Г. Шабунин)

2.3.8. Исследование возможностей применения и адаптации различных климатических, гидрологических и эрозионных моделей. (А.Г. Шабунин)

2.4 Исследование воздействия горного предприятия «Макмал» на экологическую обстановку (У.А. Абдыбачиев, Б.Д. Молдобеков, А.С. Дудашвили, Э. Мамбеталиев, К.Э. Узакбаев, Э.Кылычбаев)

ГЛАВА 3. МОНИТОРИНГ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

3.1. Система мониторинга

3.1.1. Исследовательская мониторинговая сеть (А.В. Зубович, А.Э. Шакиров, А.К. Шаршебаев, С.С. Баркалов)

3.1.2. Сейсмомониторинг (А.К. Шаршебаев, З.А. Кальметьева, А.В. Зубович)

3.1.3. Гидро-метеомониторинг (А.В. Зубович, А.Э. Шакиров, А.К. Шаршебаев, С.С. Баркалов, М.Н. Борисов)

3.1.4. GNSS мониторинг (А.В. Зубович, О.И. Мосиенко, А.Э. Шакиров)

3.2. Информационные системы и базы геоданных

3.2.1. Система хранения сенсорных данных (А.В. Зубович, Д.А. Мандычев)

3.2.2. Базы геоданных (А.В. Зубович, Д.А. Мандычев, М.М. Жантаев, В.В. Савин)

3.2.3. Геоинформационные системы в службах инженерных коммуникаций (А.В. Зубович, Д.А. Мандычев, М.М. Жантаев, В.В. Савин, У.А. Абдыбачиев, О.И. Мосиенко, С.С. Баркалов, К.Э. Узакбаев)

3.2.4. Информационная система по безопасности школ и дошкольных образовательных организаций (А.В. Зубович, Д.А. Мандычев)

3.2.4. Платформа данных по рискам стихийных бедствий Кыргызстана (М.М. Жантаев, А.В. Зубович, Д.А. Мандычев, С.С. Баркалов)

ГЛАВА 4. НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

4.1. Научное сотрудничество (Л.Ы. Жолдубаева, А.Ш. Айнабекова, Ч.Ш. Жапаркулова, А.А. Мелешко)

4.2. Повышение потенциала (Л.Ы. Жолдубаева, А.Ш. Айнабекова, Ч.Ш. Жапаркулова, А.А. Мелешко)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Создание такой международной научной организации как Центрально-азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ) произошло не случайно. Первый содиректор ЦАИИЗ, со стороны GFZ, проф. Райгбер Х. и, его официальный представитель в Кыргызстане, др. Михайлев В.Н указывают, что возникновение этого Института стало возможным благодаря тесному сотрудничеству исследователей Германии и ученых Центрально-азиатских стран с целью проведения совместных научных проектов.

В начале 90-х годов прошлого века директор 1 отдела «Кинематика и Динамика Земли» Германского центра исследования Земли г. Потсдам (GFZ), проф. Райгбер Х. предложил своим коллегам из Казахстана, Кыргызстана, Узбекистана и России создать сеть GPS пунктов для наблюдения за современными деформациями и движениями земной коры в этом регионе, а также координировать совместные работы в международном проекте "Изучение тектоники Центральной Азии (CATS)".

После подписания соответствующих соглашений с тремя Институтами Российской академии наук - Научной станцией ИВТРАН (Трапезников Ю.А.), Институтом геоэкологии (Макаров В.И.) и Институтом астрономии (Татевян С.К.) в 1992 году были заложены первые 40 пунктов на территории Казахстана, Кыргызстана и Узбекистана (Рис. 1а). В 1994 году к этой работе подключились Институт геологических наук и сейсмологии Министерства образования и науки Казахстана (Курскеев А.К.), Государственная геодезическая служба КР (Цурков В.Е.), Институты сейсмологии (Абдуллабеков К.Н.) и астрономии (Юлдашев Т.С.) Академии наук Узбекистана, и Государственная картографическая служба Таджикистана (Ишанов М.С.). В 1994 году, кроме проведения повторных замеров на существовавших GPS -пунктах, были дополнительно заложены и замерены 13 пунктов на Памире и в Таджикской депрессии [1-12].

Результаты этих первых GPS наблюдений в Центральной Азии были уже представлены осенью в 1992 году на Международном симпозиуме IAG «Геодезия и физика Земли» в Потсдаме (Reigber et al., 1993). В 1994 году было подписано итоговое соглашение о сотрудничестве между GFZ, ИВТРАН, Геодезической и Картографической службами Казахстана, Кыргызстана и Узбекистана, и о возможном присоединении Государственной картографической службы Таджикистана к этим работам. В том же году, помимо проведения повторных замеров на существовавших GPS-пунктах, были также заложены и замерены дополнительные контрольные пункты на Северном Памире и в Таджикской депрессии.

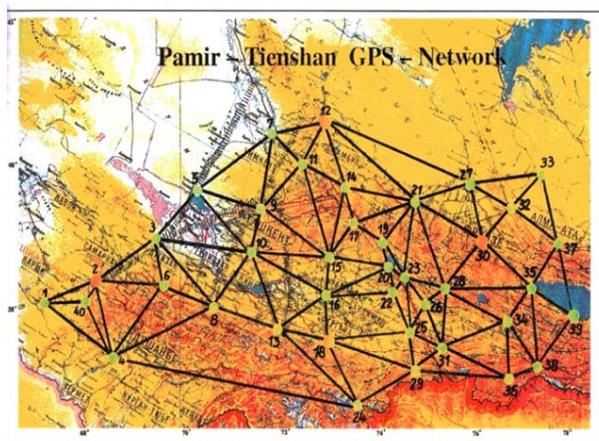
С 1995 по 1996 гг. количество наблюдательных пунктов GPS в регионе размером 1200 x 1800 км было увеличено до 90, включая 8 пунктов, сооруженных вокруг Таримского бассейна Национальным бюро геодезии и картографии (Chen J.Y.) Китая [6].

Данная сеть GPS станций была повторно обследована в период между 1995 и 1998 гг., а анализ полученных данных позволил количественно оценить распределение деформации в пределах сейсмически активных Тянь-Шаньской и Северо-Памирской зон, а также непрерывное вращение фактически недеформированных тектонических блоков подобных Тариму и Фергане (Reigber et al. 1999, Reigber et al., 2001) [1, 3, 6].

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1995 году в рамках проекта CATS GFZ Потсдам в сотрудничестве с Институтом сейсмологии НАН КР были начаты работы по изучению палеосейсмологии Тянь-Шаня. Были проведены экспедиции в Суусамырскую долину, обследована зона Таласо-Ферганского разлома, а также некоторые районы Внутреннего Тянь-Шаня.

На следующий год работы проводились в Алайской долине, а затем в северных отрогах Киргизского хребта. В заключении, в 1999 году, были изучены палеосейсмодислокации северной части Иссык-Кульской впадины.



а.



б.

Рис.1. а. Сеть заложения GPS наблюдений в Центральной Азии.

б. Фото документ: обсуждение стратегии создания ЦАИИЗ, слева направо: посол Кыргызской Республики в странах Бенелюкса, всемирно известный писатель, академик Айтматов Ч.Т., посол Кыргызской Республики в Германии, др. Джумагулов А.Ж., др. Михайлев В.Н., проф. Райгбер Х.

Эти исследования явились хорошим дополнением к результатам наблюдений GPS-сети, позволяя выявить локализацию, силу и частоту крупных сейсмических событий на территории Тянь-Шаня за последние несколько тысячелетий (Чедия и др., 1997; Michel et al, 2000; Chedia et al, 2000; Korjenkov et al, 2006) [2, 5, 7, 10].

В 1997 году было принято решение дополнить и расширить исследования в Центральной Азии путем получения данных дистанционного спутникового зондирования. На основании соглашения между Министерством чрезвычайных ситуаций (МЧС) Кыргызской Республики, Германским центром исследования Земли г. Потсдам (GFZ) и Германским аэрокосмическим агентством (DLR) в 1998 году, вблизи г. Бишкек в селе Кара-Жигач (Орбита), на территории ретрансляционной станции Кыргызтелекома была установлена мобильная станция по приему спутниковой информации дистанционного зондирования. Эта станция принимала информацию со спутников с радарными сенсорами (ERS- 1, ERS- 2 и RADARSAT), а также со спутников с оптическими сенсорами (LANDSAT- 5, SPOT-1 и др.). В работе приняли участие сотрудники DLR и GFZ. С Кыргызской

ПРЕДИСЛОВИЕ

стороны были специально обучены в качестве операторов на этой мобильной станции сотрудники МЧС и Кыргызгеодезии.

На следующий год, по договоренности с Министерством обороны Республики Узбекистан, станция продолжила свою работу на территории Узбекистана в г. Китаб. Впервые в Центральной Азии производилась первичная обработка спутниковых данных дистанционного зондирования, полученных с европейских радарных спутников ERS- 1 и ERS-2 с помощью SAR-процессора на мощном компьютере, производящем точную калибровку данных и оперативную оценку полученных съемок.

В итоге, обработанные радарные и оптические данные позволили собрать ценную информацию по динамике поверхности и проявлению экзогенных геологических процессов на территории Центральной Азии, что, в свою очередь, послужило основой для создания геодинамической базы данных в этой области.

Это также дало возможность проводить площадной мониторинг за передвижением природных масс, происходящих в результате катастрофических явлений, таких как землетрясения, оползни, сели, лавины, сходы ледников и др., т. е., существенно дополнить точечную информацию GPS-наблюдений площадными интерферометрическими данными.

В 1998 году GFZ, в рамках проекта CATS, решил изучать влияние современной тектоники и деформации земной коры на возникновение и распространение оползней в регионе. Для этого научные сотрудники GFZ (др. Ветцель У., др. Рёснер З.) совместно с коллегами из МЧС КР (др. Молдобеков Б.Д., Сарнагоев А., Понамарев В.) приступили к исследованиям оползней горного обрамления Ферганской долины [3–6, 11].

В августе того же года были проведены первые полевые работы в районах Майли-Суу, Джалал-Абад, Ош, а в дальнейшем в Гульча и Сары-Булак. В последующий до 2006 года период в этих работах с кыргызской стороны приняли активное участие сотрудники МЧС КР проф. Усупаев Ш.Э., Ибатулин Х. В. и Мелешко А.В. [4, 75].

С 1999 года до конца исторического периода ЦАИИЗ по этой проблематике было проведено несколько экспедиций в Ферганскую долину и опубликовано большое количество научных работ (Roessner et al, 2000; Wetzel, Roessner, 2000; Roessner et al, 2006; Xia et al., 2000) [4, 11-12].

В целом, привлечение новейших технологий исследования, таких как GPS, SAR-интерферометрия (ALOS и TeraSAR X), широкополосных сейсмических станций привели к прорыву в понимании образования оползневых структур и первичных признаков их возникновения. Кроме этого, в процессе этих работ были созданы цифровые базы данных не только по оползням, но также по геологическим и тектоническим условиям описываемого региона.

ПРЕДИСЛОВИЕ

На встрече с Премьер-министром КР Ибраимовым Ж., состоявшейся 19 февраля 1999 года, , проф. Райгбер Х. обсудил эти уже осуществляемые проекты и многочисленные контакты с геонаучными учреждениями региона и выразил необходимость и желание создать международный геоисследовательский институт в Центральной Азии.

На основании дальнейших контактов с правительственными органами и учреждениями, и последующих переговоров с рядом заинтересованных организаций в Кыргызстане, GFZ Потсдам в сотрудничестве с Центром международного развития (ZEU) Гиссенского университета и представителями МЧС Кыргызской Республики, разработал концепцию создания Центрально-азиатского института прикладных исследований Земли. В этом документе, написанном на немецком и русском языках и доступном в его окончательной версии в июле GFZ (2001), были определены основные направления исследований, организационная структура и начальное финансирование института.

В течение 2001-2002 гг. после множество дискуссий и соглашений между Правительством Кыргызской Республики и GFZ Потсдам, была создана основа по составлению Кооперативного соглашения о создании института.

5 марта 2002 года во время государственного визита президента Кыргызской Республики Акаева А.А. в Германию, он вместе с всемирно известным писателем и послом Кыргызстана в странах Бенелюкса, Айтматовым Ч.Т. , послом Кыргызстана в Германии др. Джумагуловым А.Д. и представителями Правительства Кыргызстана посетили GFZ в г. Потсдам (Рис. 1б).

Во время этого визита был подписан Меморандум о намерении создания Центрально-азиатского института прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ) в г. Бишкек. Президент Кыргызской Республики поблагодарил председателя Правления GFZ проф. Эммермана Р. за это, сказав: "Создание такого геоисследовательского института является ценным подарком в "Год гор". Для нас это большая честь, что институт будет располагаться в нашей столице г. Бишкек".

В октябре 2002 года было подписано итоговое кооперативное соглашение по созданию ЦАИИЗ Правительством Кыргызской Республики и GFZ Потсдам, приуроченного к проводимому под эгидой ЮНЕСКО 29 октября - 1 ноября 2002 года в г. Бишкек Глобальному горному саммиту.

В октябре 2002 года в Потсдаме прошла встреча Комитета управления ЦАИИЗ, назначенного в рамках Кооперативного соглашения для решения всех текущих дел на начальном этапе создания ЦАИИЗ.

В Комитет управления вошли по 5 представителей из Кыргызстана и Германии: с кыргызской стороны - директор Института геологии НАН КР академик Бакиров А.Б., директор Института водных проблем и гидроэнергетики НАН КР академик Маматканов Д.М. , директор Государственной геодезической службы КР др.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цурков В.Е., директор Центра мониторинга МЧС др. Молдобеков Б.Д., посол КР в Германии др. Джумагулов А.Д.; с немецкой стороны - директор Института географии Гиссенского Университета проф. Гизе Э., директор Центра международного развития Гиссенского Университета профессор Хеммер Х.-Р., директор отдела №1 GFZ Потсдам проф. Райгбер Х. (председатель Комитета управления), научный сотрудник отдела №1 GFZ Потсдам др. Ветцель Х.-У..

В ноябре 2002 года были назначены содиректора ЦАИИЗ: Правительством КР - др. Молдобеков Б.Д., Правлением GFZ Потсдам- проф. Райгбер Х..

В период с 2002 по 2004 гг. Комитет управления провел еще три заседания в г. Бишкек и в г. Потсдам для обсуждения и предложения основных положений для Устава ЦАИИЗ: структура института и основные направления исследований, органы его управления, штатное расписание, оклады, и обеспечение работы. Сотрудниками МЧС КР Сарногоевым А.К., Усупаевым Ш.Э., Джуманалиевым А.Б., Мозговым А.И. были осмотрены и предложены для аренды два пустующих корпуса Института земледелия. В соответствии с обязательствами Кооперативного соглашения, осенью 2002 года Правительство Кыргызстана выделил институту в долгосрочную аренду эти здания расположенные по адресу: г. Бишкек, ул.Тимура Фрунзе 73/2.

Официальная передача здания представителями Правительства КР состоялась 31 октября 2002 года в административном корпусе №1. В 2003г. по заказу GFZ Потсдам, проектным бюро "Бишкекпроект" была подготовлена и передана техническая документация на проведение капитального ремонта здания №1.

В июне 2004 года с фирмой "Неман", выигравшей тендер, был подписан контракт на выполнение ремонтных работ. 17 июня 2005 года Государственная комиссия по строительству КР произвела приемку отремонтированного здания.

17 мая 2004 г., в дополнение к "Кооперативному соглашению" от 29.10.2003г., одобренному Постановлением №720 Правительства Кыргызской Республики от 14.11.2003 г., Правительством Кыргызстана и Руководством GFZ Потсдам был подписан Учредительный договор о создании Центрально-азиатского института прикладных исследований Земли с организационно-правовой формой некоммерческой организации в виде Фонда.

13 мая 2004 года Министерством юстиции Кыргызской Республики было выдано свидетельство о государственной регистрации юридического лица - ЦАИИЗ с регистрационным № 21388-3300-ОФ (ИУ).

ВВЕДЕНИЕ

В предисловии книги приведена история создания Института, где учредители новой исследовательской организации ЦАИИЗ считали необходимым реализовать идею необходимости сотрудничества между учеными и политиками в решении проблем социальной значимости для обеспечения устойчивого развития стран Центральной Азии.

В разработанной концепции института приоритетными направлениями являются: развитие междисциплинарной сети мониторинга окружающей среды, изменение климата, водные проблемы, геодинамика и геокатастрофы, повышение исследовательского потенциала.

В Стратегии ЦАИИЗ одним из главных принципов прикладных исследований является создание многоцелевых сетей мониторинга и оценка изменений природной среды, установкой современных геофизических, геодезических, гляциологических, сейсмических, метеорологических станций в ЦА. В связи с этим, стратегия Института нацелена на: проведение комплексных исследований социально важных проблем по снижению риска стихийных бедствий, управление водными ресурсами и адаптация к изменению климата, оказание научно обоснованной поддержки лицам, принимающим ответственные решения сообществам в ЦА.

Приоритетные направления прикладных исследований ЦАИИЗ, это:

1. Процессы глобальных изменений негативно влияющие на окружающую среду.
2. Мониторинг и оценка катастроф (подход мульти-опасности), снижение риска стихийных бедствий (мульти-риски) и методы раннего оповещения.
3. Прикладные междисциплинарные исследования водного баланса и цикла, исследования ледников, оценка землепользования, влияния активного использования водных ресурсов на окружающую среду.
4. Развитие потенциала образования и социально-ориентированных программ.

ГЛАВА 1. ГЕОДИНАМИКА И ГЕОКАТАСТРОФЫ

1.1. Предварительные геолого-геофизические исследования бассейна р. Сары-Джаз.

1.1.1. Обоснование выбора площади исследования и геологическая изученность района

Площадь бассейна р. Сарыджаз составляет 10 700 км², его среднегодовой дебит известен только для верхней части, в устье р. Куйлю и составляет 42 м³/сек [Маматканов и др., 2006]. Принимая во внимание, что ниже по течению в Сарыджаз впадают такие крупные притоки как Энилчек, Учкель, Акшийряк, Джангарт, Каинды, Куюкап и Майбаш, питающиеся с крупнейших ледников Тянь-Шаня, мы предполагаем, что среднегодовой расход воды как минимум составляет 120 м³/сек, тогда как расход по р. Нарын в створе Токтогульской ГЭС составляет 475 м³/сек [Маматканов и др., 2006]. Таким образом, исследуемый район составляет около 20 % гидроресурсов Кыргызстана.

Совершенно очевидно, геологическая зональность не обязана совпадать с гидрографией района, поэтому площадь геологических исследований должна быть несколько шире, но охватывать все тектонические единицы, которые присутствуют в бассейне р. Сарыджаз. Восточным ограничением района исследований является хребет Меридиональный, в южной части которого возвышается пик Хан-Тенгри. Именно Хан-тенгрийский горный узел, к западу от которого происходит виргация системы хребтов Коокшаала, Терскея и Кунгея, является восточным ограничением Центрального Тянь-Шаня. Далее к востоку простирается хребет Халыктау Восточного (Китайского) Тянь-Шаня. Серверная граница района исследований проходит по краевому разлому, ограничивающему хребет Терскей от Исыкульской и Текесской впадин. Южную границу соответственно нужно проводить по Кипчакскому разлому, ограничивающему хр. Кокшаал от Таримской впадины. Западная граница открытая и условно проводится по водоразделу между бассейнами рек Сарыджаз и Нарын. Суммарная площадь района исследований составляет 15 000 км² (Рис. 1.1.1) Сейсмологические данные были выбраны в рамках координат 41°- 43° по широте и 77,5° - 80,5° по долготе с тем чтобы охватить местоположение пунктов GPS-наблюдений.

По территории Кыргызстана имеются немногочисленные опубликованные данные. Изучение неотектоники данного района, по сути, ограничено работой С.С. Шульца [1948] и предварительными геолого-геофизическими исследованиями, проводившимися при сейсмическом районировании территории в 1981-85 годах [Кнауф, 1988]. Совершенно очевидно, что в этих работах намечена только общая тектоническая зональность. В то время не существовало методик изучения активных разломов и изотопных датировок кайнозойских комплексов.

В последние годы появилась лишь одна публикация, посвященная стратиграфии плиоцен-плейстоценовых отложений Сарыджаза [Чаримов, Фортуна, 2007].

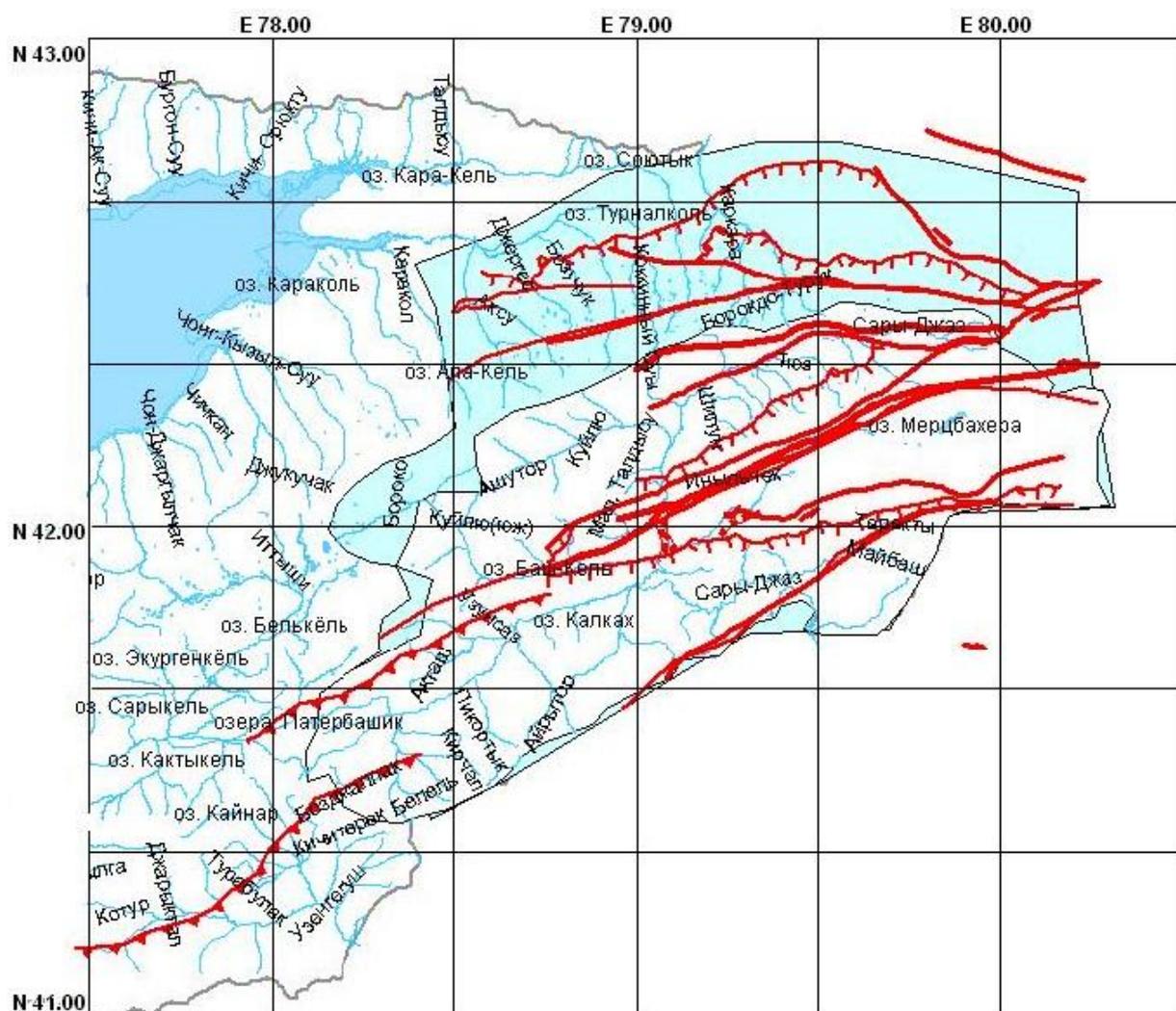


Рис 1.1.1 Район исследования

Гораздо лучше обстоят дела с неопубликованными данными, представленными в виде отчетов в Архиве Госгеолагентсва КР. В первую очередь это отчет по геоморфологии и кайнозойской стратиграфии этого района в масштабе 1: 500 000 [Турбин, 1966]. Кроме того в данном районе проводились среднемасштабные геологические съемки, в которых обязательно должны быть представлены данные по новейшей тектонике [Грищенко, 1985; Северинов, 1990; Шибков, 1994; Чернов, 1993].

1.1.2. Описание геоморфологии, режима новейших тектонических движений и связанных с ними опасных природных процессов

Основными элементами доновой структуры района Сарыдžаз являются каледониды Северного Тянь-Шаня, каледониды-герцениды Срединного Тянь-Шаня и герцениды Южного Тянь-Шаня, разделённые глубинными разломами - линией Николаева и Атбаша-Иныльчекским региональными разломами.

Эта зональность находит своё отражение и в новейшей структуре. В пределах области Северного Тянь-Шаня располагается Восточно-Терской мегантиклиналь. В пределах Срединного Тянь-Шаня находится Куйлю-Сарыдžазская мегасинклираль и

примыкающая к ней с юга одноимённая мегантиклиналь. Сложно построенные складчатые сооружения Южного Тянь-Шаня в новейшей структуре разделяются на три блока: Иныльчек-Каиндинский, Куюкапский и Кокшаальский.

Восточно-Терской мегантиклиналь занимает северную часть района, здесь выделены две группы складок: северо-западная Терской горст-антиклиналь, северо-восточная Ашурторская горст-антиклиналь. Указанные структуры имеют южную асимметрию – пологие северные и крутые, оборванные разрывами, южные крылья. Амплитуда суммарных поднятий в их пределах достигает 3750-4500 м. Отмеченные две группы складок на меридиане Верхне-Сарыджазской впадины разделены понижением, отражённым в рельефе пологопадающей к югу ДДП (3500-3750 м).

Куйлю-Сарыджазская мегасинклиналь имеет северо-восточное простирание. Ось же наиболее чётко выраженной её части - Верхне-Сарыджазской грабен-синклинали образует плавную выпуклую к северу дугу. С запада на восток мегасинклиналь протягивается от перевала Куйлю до низовьев р. Адыртор. Суммарные амплитуды новейших движений в пределах рассматриваемой структуры изменяются от 2500 м в осевой части до 3250 м на западном крыле. С юга мегасинклиналь ограничена разломами Куйлюкским и восточной ветвью Сарыджазского. Последний имеет южное падение, амплитуда поднятия его висячего крыла достигает 400-900 м.

Куйлютау-Сарыджазская мегантиклиналь состоит из четырёх горст-антиклиналей. В западной части мегантиклиналь разбита сетью разрывов, амплитуды смещения по ним составляют 100-150 м. Суммарные амплитуды поднятий этого блока изменяются в пределах от 3500 до 4700 м.

С юга рассматриваемая мегантиклиналь ограничена Атбаши-Иныльчекским разломом, являющимся активным глубинным швом в новейшее время. Амплитуда относительных смещений крыльев разлома достигают 900-1300 м.

По режиму движений рассматриваемый район входит в область устойчивого новейшего поднятия. Суммарные скорости поднятий за весь новейший этап оцениваются в десятые доли мм/год, за четвертичное время 1-2 мм/год. Современный высокогорный рельеф района, сформированный новейшими движениями, обуславливает развитие опасных природных катастроф таких как: оползни, сели и лавины. Бассейн реки Сары-Джаз, включает участки разной степени селевой опасности. Участки с возможным проявлением селей от 100 до 1000 м³/сек, расположены в правобережной части верховьев рек Ак-Шийрак и Баралбас, в левобережье верховья реки Сарыджаз, в левобережье реки Уч-Кель и верховья реки Куюкап. Территории, характеризующиеся возможным проявлением селей от 10 до 100 м³/сек, охватывают тело ледника Энилчек и среднегорные участки бассейна реки Сарыджаз. Сели, объемами до 10 м³/сек, возможны в низкогорных и долинных частях бассейна реки Сарыджаз и его притоков.

Сход лавин также относится к числу опасных природных процессов исследуемой территории. В пределах сравнительно небольших и разрозненных участков вдоль

долины реки Сарыджаз в месте впадения в нее реки Куйлуу, у поселка Энилчек, а также вдоль правого и левого берегов реки Ак-Шийрак сход лавин происходит только в многоснежные годы объемом до 500 м³. Районы, расположенные в низко и, реже, в среднегорной части берегов рек Сары-Джаз, Куйлуу, Ак-Шийрак и Баралбас, характеризуются возможностью схода лавин менее 1 раз в 10 лет, с максимальными объемами до 10 000 м³. В пределах оставшихся территорий средне- и высокогорных районов, исключая площади, занятые ледником Энилчек, сход лавин происходит от 1 до 10 раз в 10 лет, от 1 до 5 лавин на 1 погонный км дна долины, максимальными объемами от 10 до 100 тыс. м³.

1.1.3. Сейсмичность района и современные движения

При описании сейсмичности района был использован каталог землетрясений Института сейсмологии Национальной Академии Наук Кыргызской Республики (ИС), который был составлен на базе опубликованных материалов (за период времени с 250г до н.э. по 1961 г.) и собственных инструментальных наблюдений (с 1962 г.). Выкопировка из этого каталога для исследуемой территории была предоставлена нам ИС в соответствии с соглашением о сотрудничестве. Полная информация (поименованная без пропусков) в данном каталоге содержится для самых сильных ($M \geq 6.5$) землетрясений с примерно 1800 г., для событий с $M \geq 5.5$ – с 1865 г., с $M \geq 4.5$ – с 1929 г., с $M \geq 3.3$ – с 1955 г. и, наконец, с середины 1970-х годов, с созданием региональной сети сейсмических станций, каталог становится представительным по событиям с $M \geq 2.2$ (Джанузаков и др., 1977).

Для мониторинга поверхностных движений ЦАИИЗом была установлена сеть GPS-станций. В настоящей монографии используются данные трех перманентных GNSS станций, расположенных в краевых частях исследуемого региона. Это станции Мерцбахер-1 (MRZ1), Тарагай (TARA) и Кереге-Таш (KRGТ) (**Рис. 1.1.2**). Все станции оборудованы GNSS приемниками Topcon GB-1000. Потoki данных наблюдений автоматически передаются в ЦАИИЗ, где ведется их обработка с помощью программ Gamit/Globk (MIT, США).

Представление о сейсмичности района дает карта эпицентров землетрясений (**Рис. 1.1.2**). Эпицентры сильных ($M \geq 5.5$) землетрясений с древнейших времен по 1980 гг. показаны черными звездочками. За период времени 1981-2013 гг. показаны эпицентры всех зарегистрированных землетрясений. График повторяемости (**рис. 1.1.3**) показывает, что землетрясения энергетического класса $M \geq 2.5$ являются представительными в данной выборке. Эпицентры землетрясений разных диапазонов энергий показаны на карте разными цветами, чтобы нагляднее подчеркнуть особенности их локализации. Так, можно видеть, что самые сильные землетрясения ($M=5-6$), обозначенные на карте розовым цветом и черными звездочками, за период времени около двух тысяч лет происходили только в краевых частях исследуемого района, как бы ограничивая участок бассейна реки Сарыджаз до выхода ее на территорию Китая. С северо-запада бассейн реки Сарыджаз ограничен полосой эпицентров землетрясений, известной под названием Южно-Иссыккульский участок Северо-Тяньшанской сейсмоактивной зоны [Джанузаков и др., 1977; Кнауф-ред., 1988]. Самое сильное землетрясение в пределах этой сейсмоактивной зоны произошло в

1970 году - Сарыкамышское землетрясение, $M=6.8$, $I_0=8-9$. На юго-востоке исследуемой территории проходит Южно-Тяньшанская (Гиссаро-Кокшаальская) сейсмоактивная зона [Джанузаков и др., 1977; Кнауф-ред., 1988]. Здесь происходили и происходят сильные землетрясения. Например, Кокшаальские землетрясения – 1969 года ($M=6.6$, $I_0=9$), 1971 года ($M=6.1$, $I_0=8$ баллов), 1987 года ($M=6.1$), 2005 года ($M=5.5$). В центре района отчетливо прослеживается полоса эпицентров (красного цвета) умеренной силы землетрясений ($M=3.3-4.4$) юго-западного простирания, известная под названием Центрально-Тяньшанская сейсмоактивная зона. Она характеризуется как относительно слабоактивная [Кнауф-ред., 1988]. Упомянутое Джанузаковым К.Д. 8-бальное Кокшаальское землетрясение 1915 года в пределах этой зоны относится к классу землетрясений, эпицентр которого определен с точностью более 50 км. По этой причине сложно говорить о его приуроченности к этой зоне. Интерес представляют полосы эпицентров слабых ($M \leq 3.3$) землетрясений северо-западного простирания (поперечных к вышеназванным сейсмоактивным зонам) - Акшийрякский и Сарыджазский линеаменты [Кнауф, отв. ред., 1988]. В пределах Сарыджазского линеамента проходит среднее течение реки Сарыджаз, представляющее наибольший интерес с точки зрения планируемого строительства гидротехнических сооружений.

Представление о характере движений в очагах землетрясений дают результаты анализа механизмов их очагов. По данным (Беленович, Багманова: Кнауф, отв.ред., 1988) район бассейна реки Сарыджаз делится на три региональных блока, границы между которыми проходят по Акшийрякскому и Сарыджазскому линеаментам. В очагах землетрясений в пределах западного и восточного блоков происходят взбросо-сдвиговые подвижки под действием близгоризонтального субмеридионального сжатия (т.е. направленного вкост простирания геологических структур); движение масс направлено к северу. Центральный блок в свою очередь подразделяется Куюкапским разломом на отдельные участки. К северу от разлома в очагах землетрясений происходят сбросо-сдвиговые подвижки, с направлением движений к востоку. На участках, ограниченных Куюкапским разломом, тип подвижек в очагах землетрясений становится другим и направление движений меняется на западное. Более того, если в пределах всего центрального блока отмечается близвертикальное положение оси сжатия, то в пределах Куюкапского разлома оно сменяется на горизонтальное. Эти факты дают основание характеризовать Куюкапский разлом как сдвиговую границу широтного простирания. Авторы также отмечают, что в центральном блоке по данным о слабых землетрясениях наблюдается неустойчивый характер знаков первых смещений.

Сопоставим эти выводы с данными наблюдений за более поздние годы, 1986-2013 гг. На рисунке 1.1.2 показаны имеющиеся данные о механизмах очагов землетрясений с $M \geq 4$. Визуально выделяются области взбросовых подвижек (в пределах Сарыджазского линеамента), сбросовых (восточное окончание Центрально-Тяньшанской сейсмоактивной зоны) и сдвиго-надвиговых (южнее Куюкапского разлома, уже в пределах Южно-Тяньшанской сейсмоактивной зоны). Дополнительную информацию о движениях в очагах землетрясений несут данные макросейсмических обследований сильных событий.

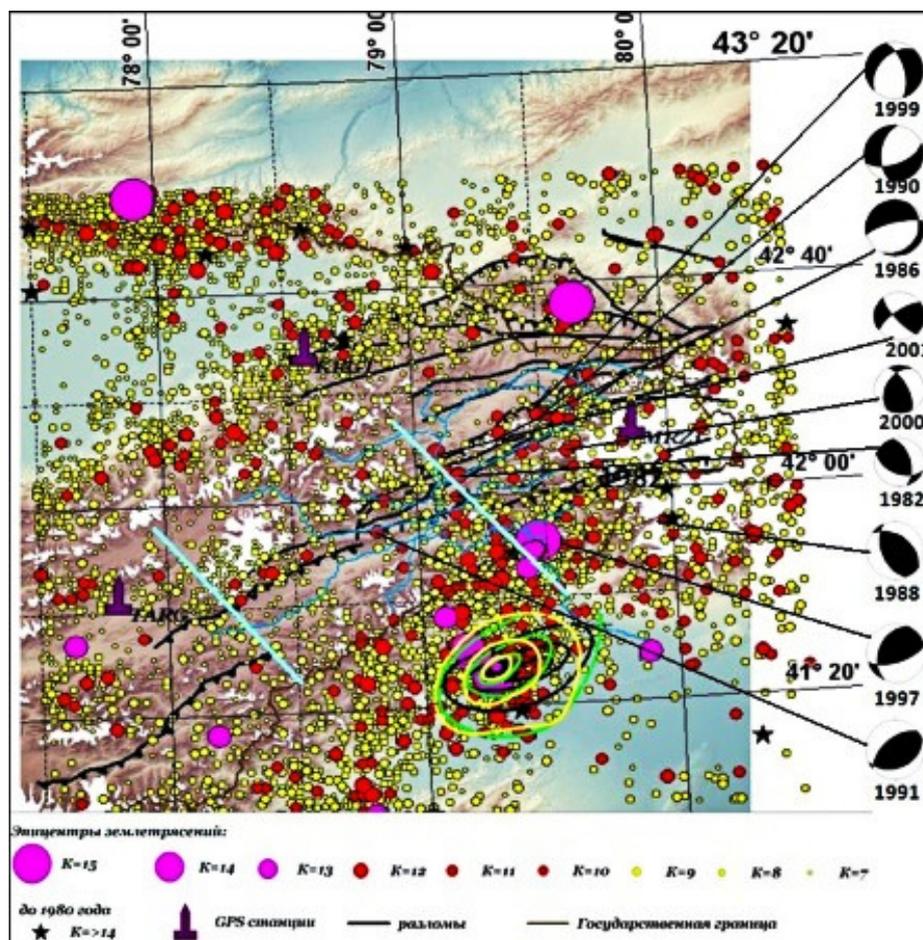


Рис. 1.1.2. Карта эпицентров землетрясений за 1981-2013 гг. Механизмы очагов землетрясений по данным Ежегодника «Землетрясения Северной Евразии» и изосейсты Кокшаальских землетрясений по данным [Джанузаков и др., 2003]: 1969 года ($M=6.6$, $I_0=9$) – черным цветом, 1971 года ($M=6.1$, $I_0=8$ баллов) – зеленым цветом и 1987 года ($M=6.1$) – желтым цветом. Голубые линии показывают границы блоков по данным [Кнауф, ред, 1988]. $K=1.8M+4$.

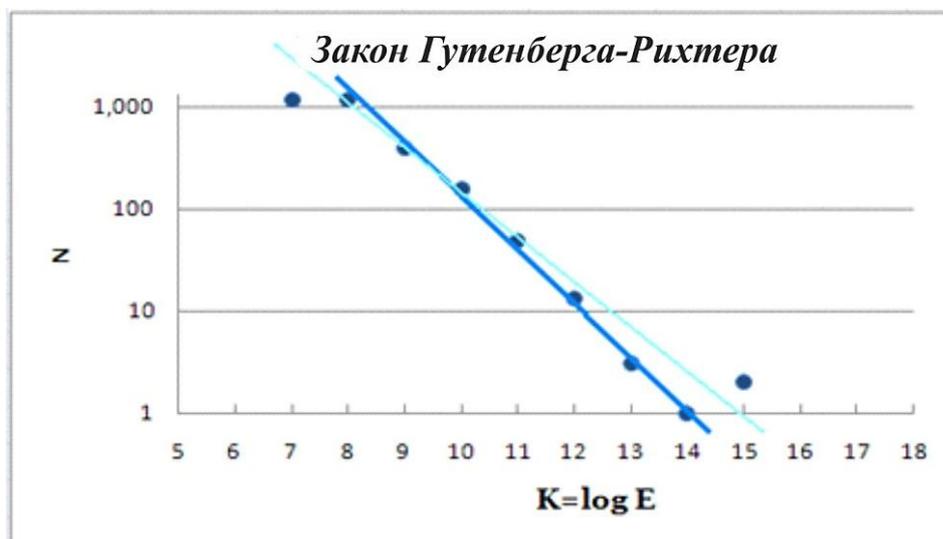


Рис. 1.1.3. График повторяемости землетрясений за период 1981-2013гг.

Изосейсты трех 8-9 балльных Кокшаальских землетрясений Южно-Тяньшанской сейсмоактивной зоны - 1969, 1971 и 1987 гг. свидетельствуют о распространении сейсмических подвижек вдоль основных геологических структур Южно-Тяньшанской сейсмоактивной зоны, тогда как севернее происходят взбросовые подвижки в северном направлении. Вся сложность характера движений рассматриваемой территории отчетливо демонстрируется землетрясением 14 февраля 2005 года, приуроченным к сочленению Сарыджазского линеамента с Южно-Тяньшанской сейсмоактивной зоной (рис. 1.1.4.). Особенность этого землетрясения состоит в том, что оно предварялось серией форшоков, самый сильный из которых произошел примерно за один месяц до будущего основного толчка, в 17 км к северо-западу от него [Джанузаков и др., 2011]. Афтершоки этого землетрясения в течение первых двух недель заполнили пространство между основным толчком и вышеупомянутым форшоком. На рис. 1.1.4 видно, что механизмы очагов форшока, основного толчка и сильного афтершока, произошедшего через 11 часов, практически совпали, показывая, что однотипные движения в очаговой зоне распространялись к северу от основного толчка. Но затем появляются афтершоки в северо-восточном и юго-западном направлении от главного толчка. И уже через один месяц они происходят только вдоль линии северо-восточного простирания. Решение механизма очага самого сильного афтершока из этой серии (рисунок 1.1.4, верхний справа) показывает, что взбросовые подвижки сменились на сбросовые, а субмеридианальное направление движений сменилось на близширотное, согласуясь с направлением простирания изосейст (рис. 1.1.2) вышеупомянутых трех Кокшаальских землетрясений.. Приведенные данные в целом согласуются с выводами работы [Кнауф-ред., 1988] о сложной картине сейсмических деформаций исследуемого района и, в особенности, в пределах Сарыджазского линеамента. Вместе с тем, проведенный анализ

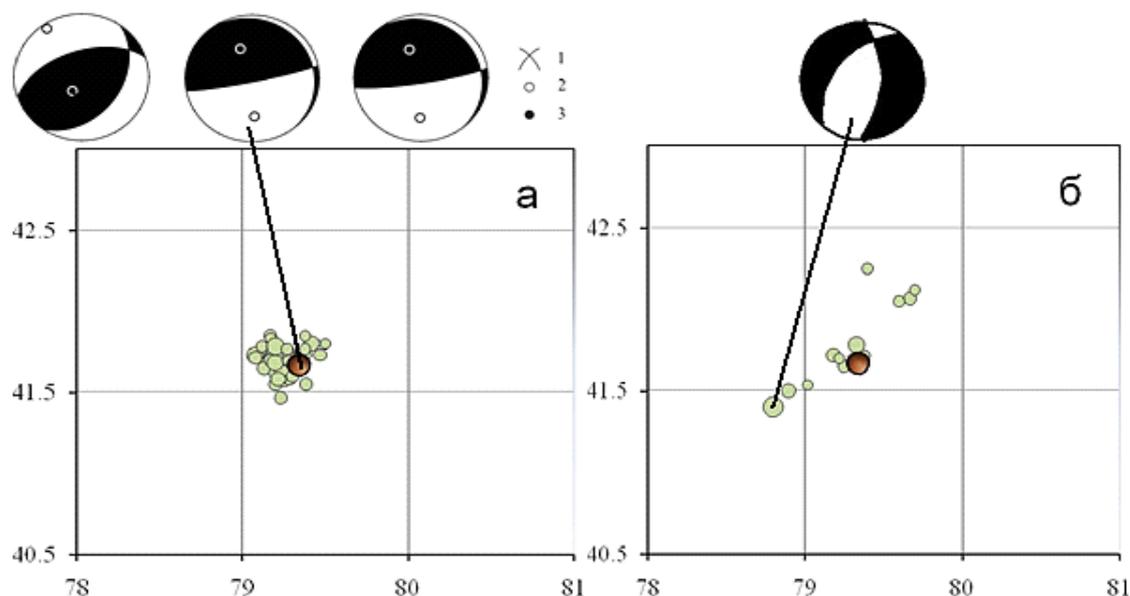


Рис. 1.1.4. Механизм очагов Кокшаальских землетрясений

Рис 1.1.4. Вверху: механизмы очагов форшока, главного толчка и сильного афтершока землетрясения $M=6.1$, 14 февраля 2005 г., произошедшего на следующий день после основного толчка (слева) и сильного афтершока, произошедшего через два с

половиной месяца после основного толчка (справа). Внизу: эпицентры афтершоков, происшедшие в течение первого месяца (а), и после двух месяцев (б) по данным работы [Джанузаков и др., 2011]. Коричневым кружком показан эпицентр главного толчка

показывает, что в пределах этой поперечной зоны (Сарыджазский линеамент) за историческое время не происходило сильных ($M > 5$) землетрясений. Разрушительные события начинаются в месте сочленения данной структуры с Южно-Тяньшанской сейсмоактивной зоной по Куюкапскому разлому. В работе [Кнауф-ред., 1988] этот участок выделен как Северо-Кокшаальская сейсмогенерирующая зона с возможностью возникновения очагов с $M=6.6-7.0$.

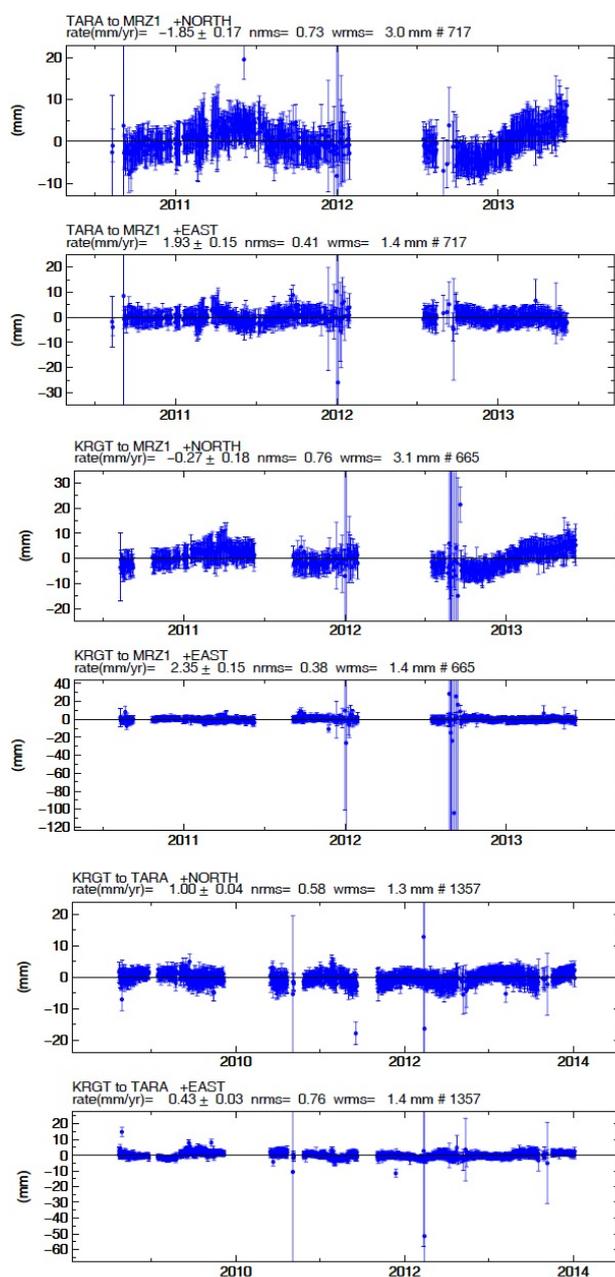


Рис. 1.1.5. Северная и восточная компоненты изменения длины базовой линии между станциями Тарагай, Мерцбахер-1 и Керегеташ.

Для анализа поверхностных движений использовались данные наблюдений GNSS станций. Были построены временные ряды изменения горизонтальных компонент длин базовых линий между станциями (**рис. 1.1.5**). Анализ изменения длины базовой линии станции Керегеташ относительно станции Тарагай (**Рис. 1.1.5.**) показывает, что северная компонента скорости изменения длины базовой линии составляет ~0.5 мм/год. Восточная компонента - еще меньше - около 0.1 мм/год. Это очень низкие скорости, на уровне погрешности, хотя расстояние между станциями более 100 км. Такие скорости свидетельствуют о том, что станции расположены в массиве, который в настоящее время ведет себя как единое целое.

Анализ местоположения станции Кереге-Таш относительно местоположения станции Мерцбахер-1 (**Рис. 1.1.5.**) показывает покомпонентное изменение. Здесь также небольшие скорости, хотя и несколько большие, чем в предыдущем случае, 1.16 и - 2.54 мм/год - соответственно северная и восточная компоненты. Значения компоненты скорости и относительные местоположения станций говорят о том, что KRGТ относительно MRZ1 незначительно смещается на юго-восток.

За время GPS-наблюдений (июнь 2010-декабрь 2013) между станциями Тарагай и Керегеташ не произошло ни одного землетрясения представительного класса. Тогда как между станциями Мерцбахера и Керегеташ произошло два землетрясения с $M=2.9$ и семь землетрясений с $M=2.2$, т.е. довольно слабые события. Ничего не известно о направленности движений в очагах этих землетрясений, так как для них нет данных о механизмах их очагов. Если принять, что характер движений в пределах определенного времени сохраняется, то можно рассматривать приведенные данные о механизмах очагов (**рис. 1.1.2**) за последние 10-20 лет. Тогда очевидно, что GPS-данные о поверхностных движениях хорошо согласуются с данными о землетрясениях на качественном уровне. На рисунке **1.1.2** видно, что между станциями KRGТ и MRZ1 располагается серия разломов в пределах Центрально-Тяньшанской сейсмоактивной зоны. В очагах землетрясений, происходящих в пределах зоны этих разломов, происходят сбросовые, сдвиговые и сдвиго-надвиговые подвижки. Для оценки количественных соотношений необходимо накопление данных.

Выводы:

- 1. Исследуемый район сложен в основном древними палеозойскими отложениями. Для оценки риска опасных геологических процессов необходимы дополнительные геофизические исследования, а также полевые работы в сочетании с применением методов дистанционного зондирования и определения абсолютного возраста пород;*
- 2. Среднее течение реки Сарыджаз располагается в пределах Сарыджазского линеамента, где за обозримое время не происходило сильных ($M>5$) землетрясений. Сильные землетрясения происходят южнее, в районе сочленения Сарыджазского линеамента с Кокшаальской сейсмоактивной зоной по Куюкапскому разлому, где река*

3. По данным о механизмах очагов землетрясений и результатам макросейсмических обследований сильных землетрясений следует, что в районе выхода реки Сарыджаз на территорию Китая геологическая среда находится в сложном напряженном состоянии. Это проявляется в различии типов подвижек в очагах землетрясений по разные стороны от русла реки, а также к северу и к югу от Куюкапского разлома. Более того, в очаговых зонах сильных землетрясений могут возникать разрывные деформации, распространяющиеся в разных (взаимноперпендикулярных) направлениях;

4. Несмотря на короткий срок наблюдений, отмечается качественное совпадение данных наблюдений методами GPS и сейсмологии, что может свидетельствовать о преобладании хрупких разрушений в очагах землетрясений этого района.

1.2. Исследования динамики развития оползней

1.2.1. Оползни Татыр, Гульча, Майли-Суу и Мин-Куш.

На территории Кыргызстана преобладает горный рельеф, что наряду с широким распространением в предгорной зоне слабосвязных глинистых и лессовых отложений, от четвертичного до мезозойского возраста, создает предпосылки для образования многочисленных оползней. Их изучение имеет важное значение для разработки прогноза развития оползневых процессов и мер по снижению ущерба от воздействия оползней на объекты человеческой деятельности [1].

Одним из проектов ЦАИИЗ, в рамках которого выполнялись и продолжают выполняться исследования оползней, является проект: «Исследование оползней методами наземных наблюдений и дистанционного зондирования (в пилотной области горного обрамления Ферганского бассейна, северного и внутреннего Тянь-Шаня)». Целью проекта является изучение основных факторов и механизмов формирования типичных оползней на ключевых участках и выявление закономерностей функционирования и эволюции оползней для разработки прогноза их развития и мер по снижению риска. Основными методами исследования являются дешифрирование и анализ космических снимков с помощью специальных программ и ГИС-технологий, полевые топографические измерения с помощью GPS и тахеометров морфометрических характеристик оползневых тел, движений реперов (Рис. 1.2.1), лабораторные исследования грунта, грунтовых вод, анализ архивных данных по основным факторам образования оползней.

В процессе выполнения данного проекта осуществлялся сбор и анализ архивных данных по геологическим, литологическим, гидрогеологическим, геоморфологическим характеристикам четырех оползней, расположенных в районе городов Майли-Суу, Гульча, Мин-Куш, Бишкек (Рис. 1.2.2).

В это же время были выполнены предварительные полевые исследования, в процессе которых были уточнены морфометрические и топографические параметры оползней путем измерений с помощью геодезических приборов GPS «Timble 4000 SSE» и

«Торсон GB-1000». Так же, проводилось уточнение геологических и гидрогеологических условий, основных оползней: оползень «Кой-Таш» вблизи города Майли-Суу, оползень «Гульча» вблизи города Гульча, оползень «Туюк-Суу» вблизи города Мин-Куш и оползень «Татыр» вблизи города Бишкек. Расположение оползней Кой-Таш, Гульча, Туюк-Суу, Татыр (Рис. 1.2.3), показано на карте сервиса Google Maps по следующей ссылке:

<http://maps.google.com/maps/ms?ie=UTF&msa=0&msid=203965682782791499971.0004bf200bad00f222237>.



Рис.1.2.1. Полевые исследования оползней вблизи городов Гульча, Майли-Суу, Мин-Куш



Рис. 1.2.2. Схема расположения исследуемых оползневых участков



Рис. 1.2.3. Фрагменты космических снимков с расположением основных изучаемых оползней.

По результатам дешифрирования космических снимков высокого разрешения (Рис. 1.2.7) уточнены морфометрические параметры оползней и их схематические карты в GIS MapInfo (Рис. 1.2.4, 1.2.5, 1.2.6). По морфологии, литологическому составу и динамике развития определен тип оползней, а так же механизм развития оползней с учетом основных факторов: климатических и геологических. В настоящее время сформирована, в основном, качественная модель каждого из исследованных оползней с некоторыми элементами количественных оценок. Установлены наиболее вероятные причины активизации оползней и сделаны предварительные выводы по вероятному развитию исследованных оползней.

В рамках этого проекта, выполнены детальные исследования на оползне Татыр (Рис. 1.2.8). Оползень «Татыр» (Чон-Курчак) расположен в 30 километрах к югу от города Бишкек на левобережье р. Аламедин, в 3 км северо-восточнее с. Чон-Курчак. Он образован на породах Сулутерекской и Шамсинской свит, имеющих палеогеновый и неогеновый возраст. В смещение вовлечены загипсованные и засоленные глинистые породы, конгломераты, песчаники. Объем оползня в настоящее время составляет 6,75 млн. м³. Активизация оползневого процесса наблюдается с 2004 года. В настоящее время оползень практически не активен, что диагностируется по постоянству, в пределах ошибок измерения, положения границы его нижней части, и отдельных блоков тела оползня, развитию растительности на их границах и на бровке передового вала.

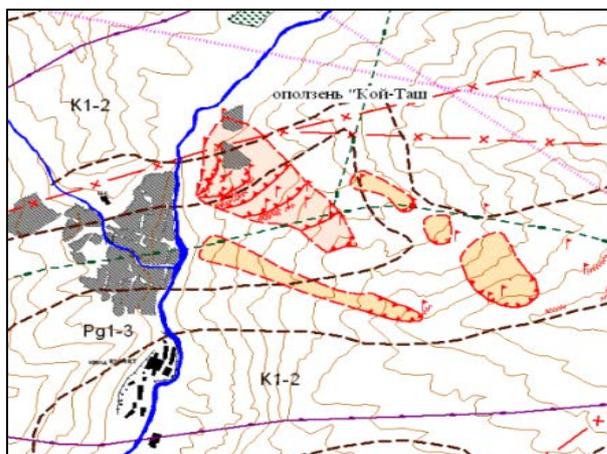


Рис. 1.2.4. GIS карта-схема оползневого участка «Кой-Таш»

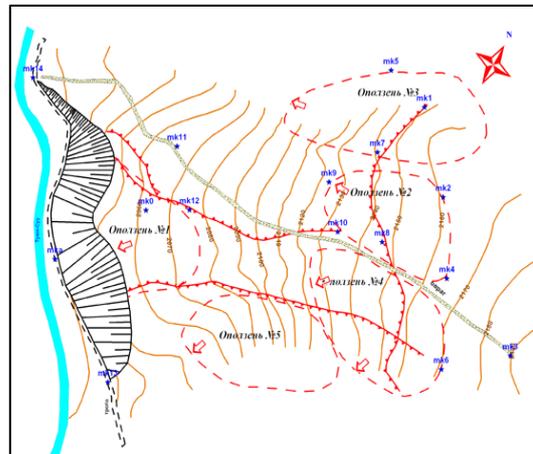


Рис. 1.2.5. GIS карта-схема оползневого участка «Туюк-Суу»

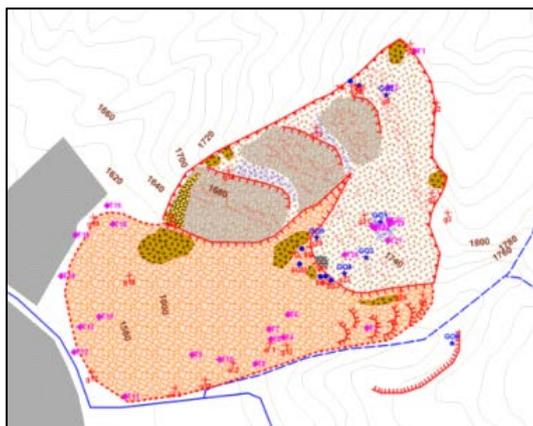


Рис. 1.2.6. GIS карта-схема оползня «Гульча»

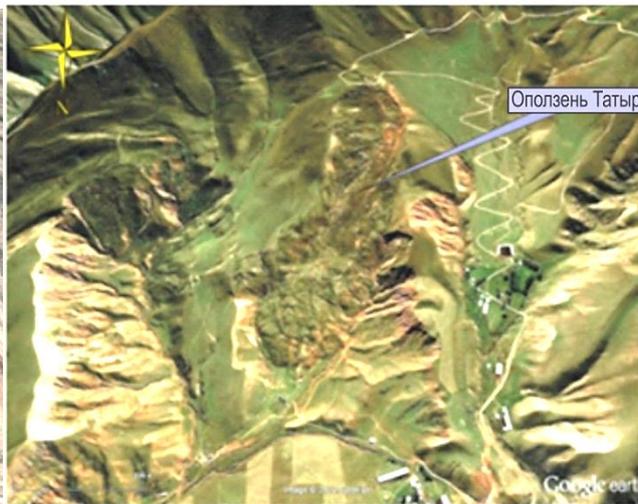
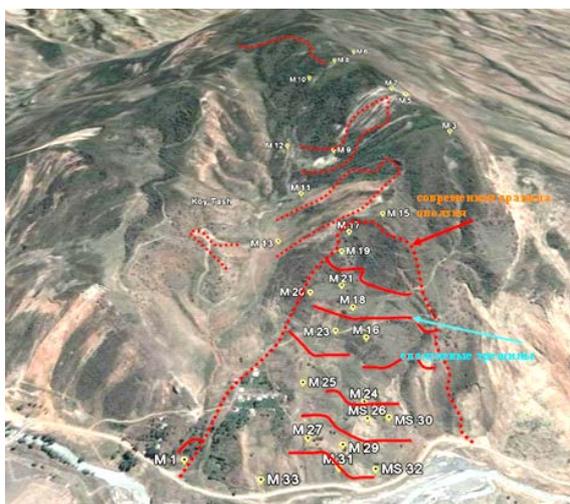
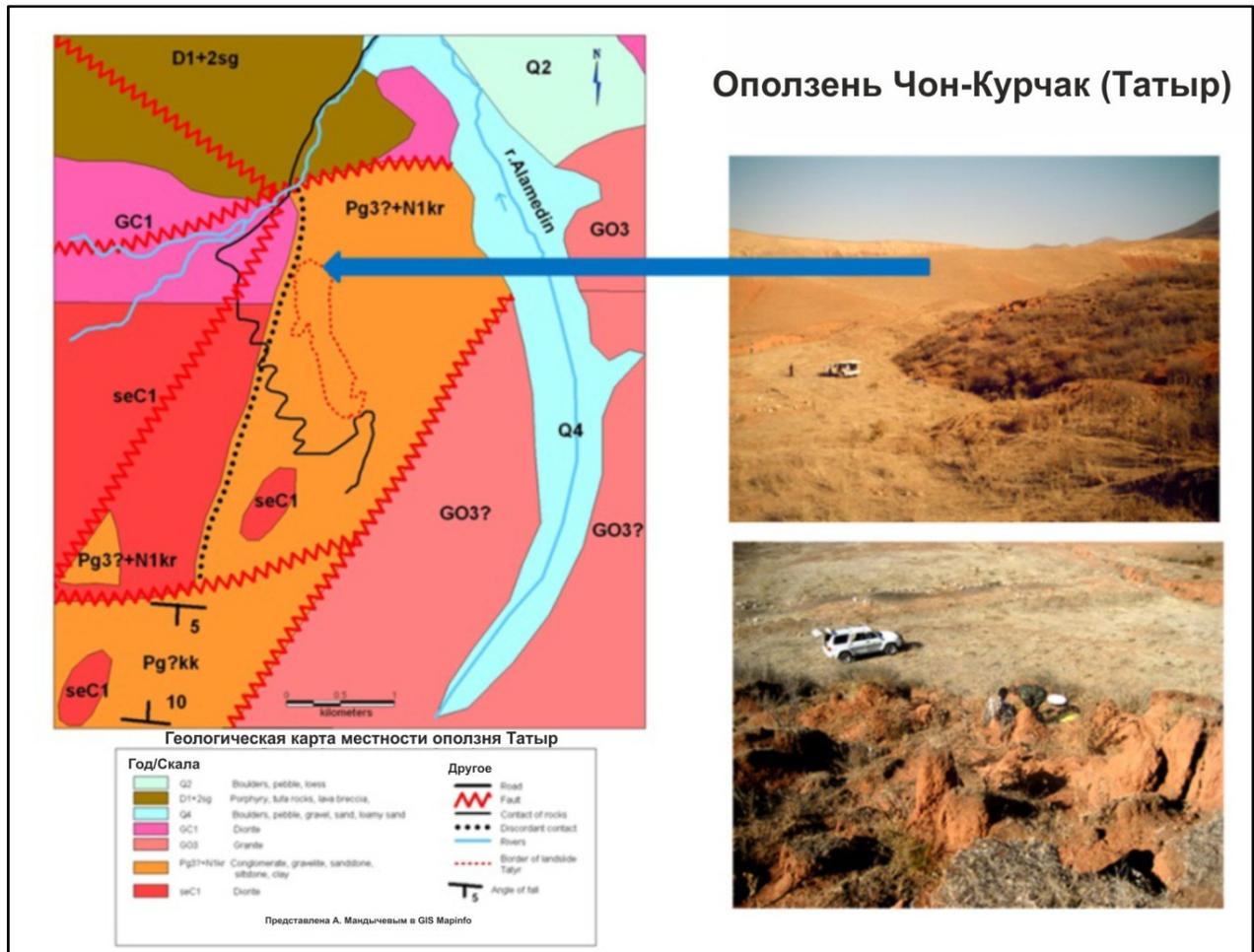


Рис. 1.2.7. Космоснимок со спутника «Quick Bird», сенсор: QB02, дата: 13/07/2002, получен с сервера «Google Earth», оползня «Кой-Таш» с элементами дешифрирования.

Рис. 1.2.8. 3-D вид на оползень Татыр

На этом оползне создана сеть наблюдательных реперов, местоположение которых показано на рисунках **1.2.10**, **1.2.11** и произведены замеры их координат и абсолютной высоты посредством GPS Topcon GB-1000. Кроме этого, выполнены исследования, включающие определение геологических условий и их GIS – картирование (Рис. **1.2.9**), выполнено дешифрирование космического снимка от 29/09/2009 года, со спутника «Quick Bird», полученного с сервера «Google Earth» с разрешением 0,6 м/пиксел (Рис. **1.2.10**), а так же космического снимка спутника «Worldview 2» от 27/05/2012 года (Рис. **1.2.11**). Последний снимок представлен двумя вариантами – панхроматическим с разрешением 0,5 м/пиксел и мультиспектральным с разрешением 2 м/пиксел. Ошибка географической привязки после ортотрансформирования по DEM SRTM, составила несколько метров. В процессе дешифрирования выделены основные границы элементов структуры тела оползня, границы водоразделов и основных каналов поверхностного стока, трещины отрыва на оползневом склоне, локальные участки накопления воды за счет атмосферных осадков на поверхности оползня. Сравнение снимков, полученных в различное время, с периодом около 2,5 лет, позволило выявить некоторые различия в условиях окружающей среды оползня.

В целом, для решения задач уточнения условий формирования оползня и особенностей его строения, имеющаяся точность геопозиционирования космических снимков достаточна. Дополнительные возможности в этом плане предоставляет наличие трех спектральных каналов оригинального снимка и возможность их комбинирования для выявления различных элементов строения оползня. Более точные исследования изменения геометрических характеристик оползня возможны лишь по повторным измерениям координат и высоты опорных точек геодезическими GPS и с помощью тахеометра.



Оползень Чон-Курчак (Татыр)

Рис.1.2.9. Схема геологического и тектонического строения района оползня Татыр



Рис. 1.2.10. Космоснимок с элементами дешифрирования со спутника «Quick Bird», оползня «Татыр».

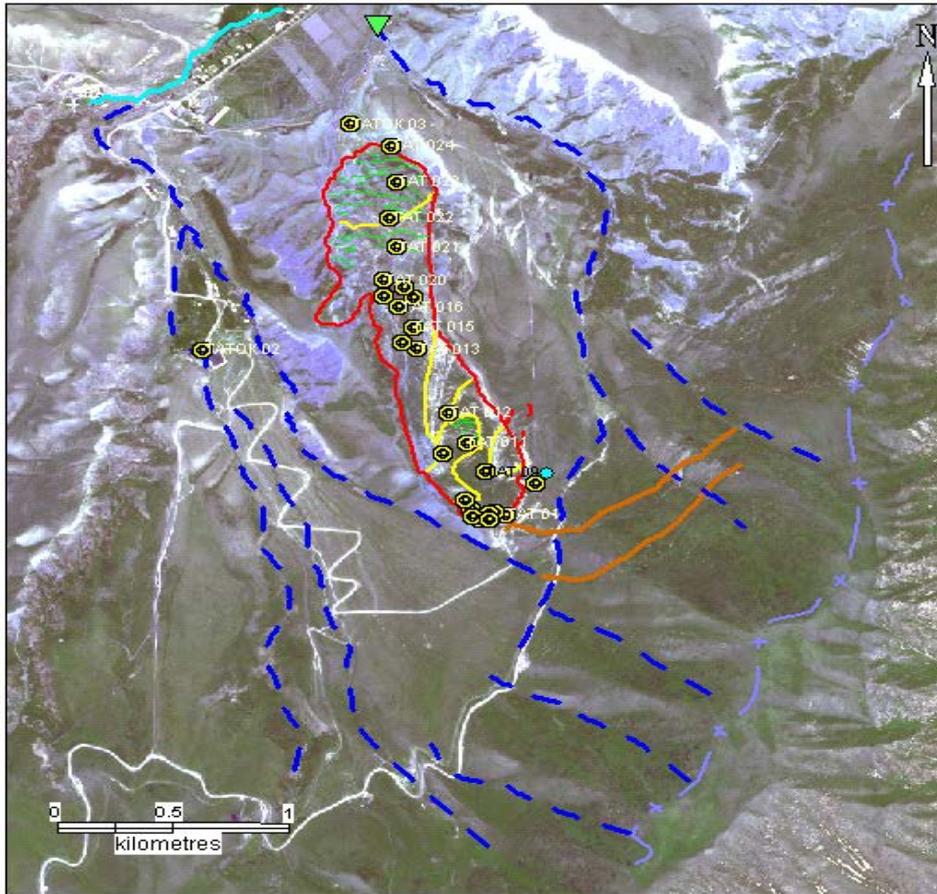


Рис. 1.2.11. Космоснимок с элементами дешифрирования со спутника «Worldview 2» оползня «Татыр»

С целью определения общих морфологических параметров оползня был выполнен анализ цифровой модели рельефа SRTM, представленного на сервере «Google Earth». Как видно на рисунке 1.2.12, профиль по центральной части оползня Татыр характеризуется относительно равномерным уклоном поверхности при наличии слабовыраженных уступов на расстоянии 400 и 820 метров от верхней границы оползня. Этим уступам с абсолютными отметками 1700 и 1650 метров над уровнем моря, вероятно, соответствуют крупные блоки оползня.

Средний уклон поверхности оползня 0,22, что соответствует углу наклона поверхности $12,7^\circ$. Этот показатель является одним из важных при прогнозе возможной активизации оползня, так как непосредственно связан с градиентом гравитационного потенциала. В данном случае, он небольшой по величине, что позволяет отнести оползень, по этому критерию, к достаточно стабильному.

С целью наблюдения за атмосферными осадками, влияющими на развитие оползня, в мае 2012 года вблизи оползня Татыр был установлен суммарный осадкомер (Рис. 1.2.13) для измерения жидких и твердых атмосферных осадков. Его местоположение показано в сервисе «Google Maps» по адресу: <http://maps.google.com/maps/ms?ie=UTF&msa=0&msid=203965682782791499971.0004db1df0a0c263d751d>.

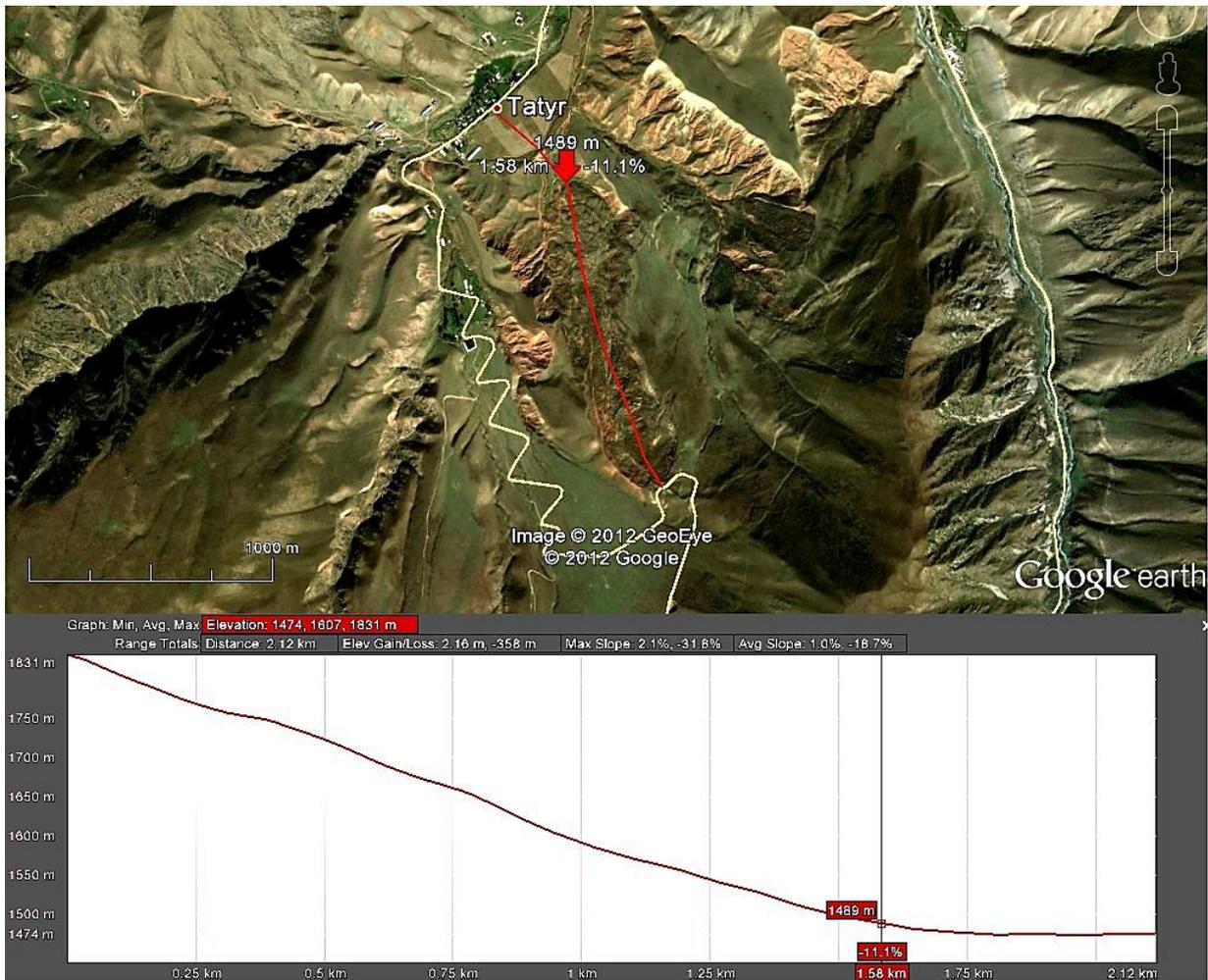


Рис. 1.2.12. Профиль по центральной части оползня Татыр



Рис. 1.2.13. Суммарный осадкомер, расположенный вблизи оползня Татыр

Осадкомер имеет ветровую защиту, аналогичную стандартной защите осадкомера Третьякова [2], использующегося в настоящее время на гидрометеостанциях Кыргызстана. Высота приемного отверстия, от поверхности земли, порядка 2 метров, площадь 346,2 см². Частота замеров около 1 раза в месяц. Сравнение средних месячных значений величин атмосферных осадков за период с 2000 по 2009 годы по метеостанции Байтик (а.о. 1543 м), расположенной вблизи осадкомера Татыр (а.о.

1464 м) и величин осадков по этому осадкомеру за 2012 и 2013 годы, показано на рисунке 1.2.14. Из рисунка следует, что измеренные величины осадков по осадкомеру Татыр, в целом, соответствуют диапазону и характеру изменений осадков за многолетний период, характерных для района бассейнов Ала-Арча и Аламедин, на сравнительно близких абсолютных высотах местности.

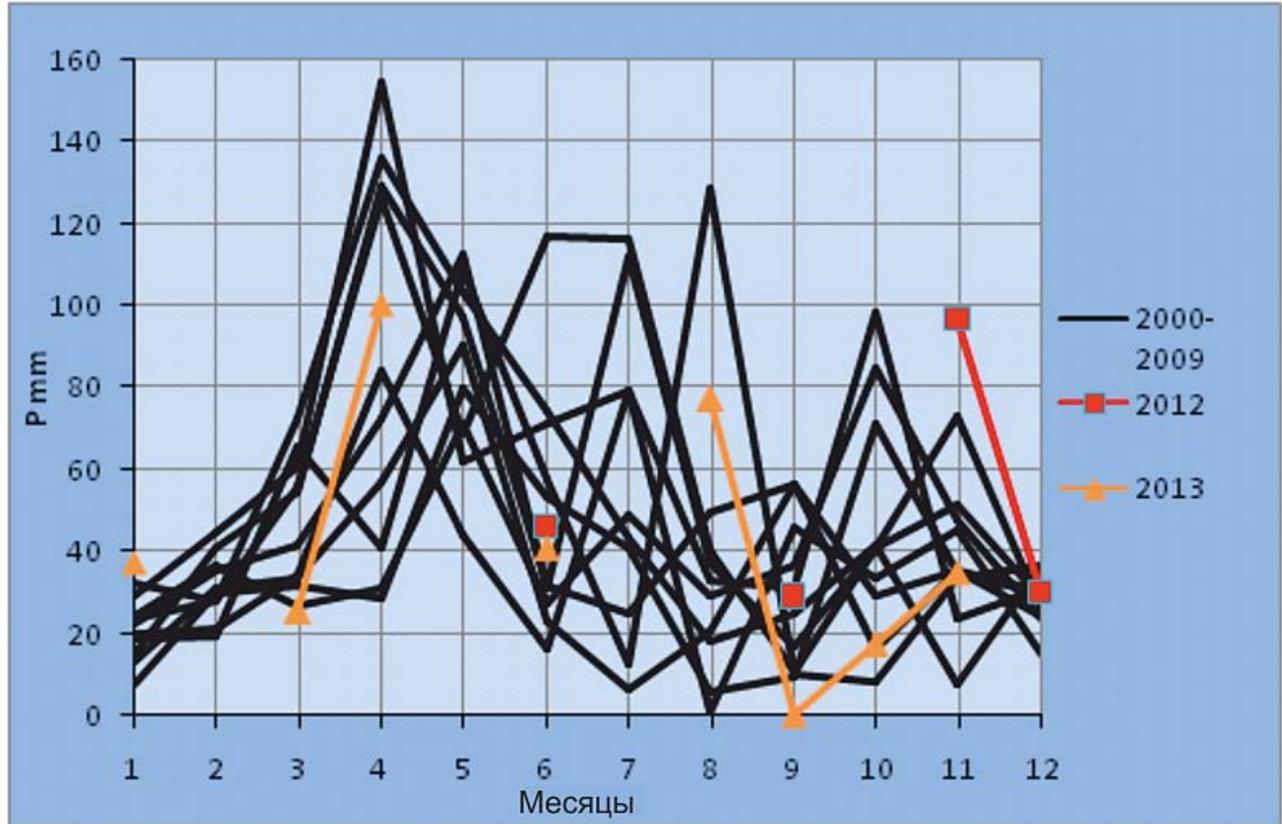


Рис. 1.2.14. Атмосферные осадки по метеостанции Байтик за 2000-2009 и осадкомеру на участке Татыр за 2012-2013



Рис.1.2.15. Обзорный вид на участок «ОАУА-22» вблизи с. Ак-Босого

Мониторинг атмосферных осадков, являющихся одним из основных факторов развития оползней, в районе оползня Татыр позволяет уточнить величину атмосферных осадков поступающих на водосборный бассейн оползня. Использование этой информации позволяет разрабатывать методику более точного прогнозирования возможных движений оползня. Кроме этого он обеспечивает повышение детализации метеорологических параметров, получаемых по сети гидрометеостанций в бассейнах рек Ала-Арча и Аламедин Кыргызстана, необходимых для решения инженерно-геологических, гидрологических и гляциологических задач.

1.2.2. Оползни Алайского района

В 2013 году были обследованы оползнеопасные участки развитые на территориях Алайского и Узгенского и Алайского района Ошской области включенные в книгу «Мониторинг и прогноз возможной активизации опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики за 2013» несущие угрозу жилым домам и инфраструктуре населенных пунктов. Целью этих проектов являлось создание Единой базы данных об оползнях Кыргызстана и обновления реестра опасных участков.

Последние такие работы были проведены Кыргызской комплексной гидрогеологической экспедицией в 1998 году с использованием топографической основы масштаба 1: 100 000. Предварительно были определены области формирования и распространения оползневых участков на ранее геопривязанной топографической основе масштаба 1: 100 000, для дальнейших исследовательских работ, с оформлением их в виде SHP-файлов в системе координат WGS-84, KMZ. Обсуждалась методология исследований и определялись источники, имеющие фондовые материалы. Были приобретены спутниковые изображения Rapid Eye с разрешающей способностью на местности 5 м. для дешифрирования опасных участков. Проведены GPS измерения контрольных точек с использованием методов Rapid Static & Real Time Kinematic (RTK). Оползнеопасные участки распространены в пределах 25 территорий айылных округов. Многие ранее обследованные оползни находились на разных стадиях развития, и которые требовали обновления и продолжения мониторинговых обследований. При полевых обследованиях по районам описано, систематизировано и включено в единую базу данных 186 оползнеопасных участков. Для всех вышеуказанных участков создан каталог, составлены технические паспорта с описанием основных характеристик, как оползневого склона, так и самого оползня, а также их типизация, факторы и год образования, условия размещения, стадия их развития, степень опасности, фотоприложение и т.д. В процессе выполнения исследований также были векторизованы ряд тематических карт такие как геологическая, инженерно-геологическая, геоморфологическая и карта подземных вод.

Будут продолжены работы по исследованию оползнеопасных участков для остальных районов Ошской области, а также для Сузакского и Базар-Коргонского районов Джалап-Абадской области.

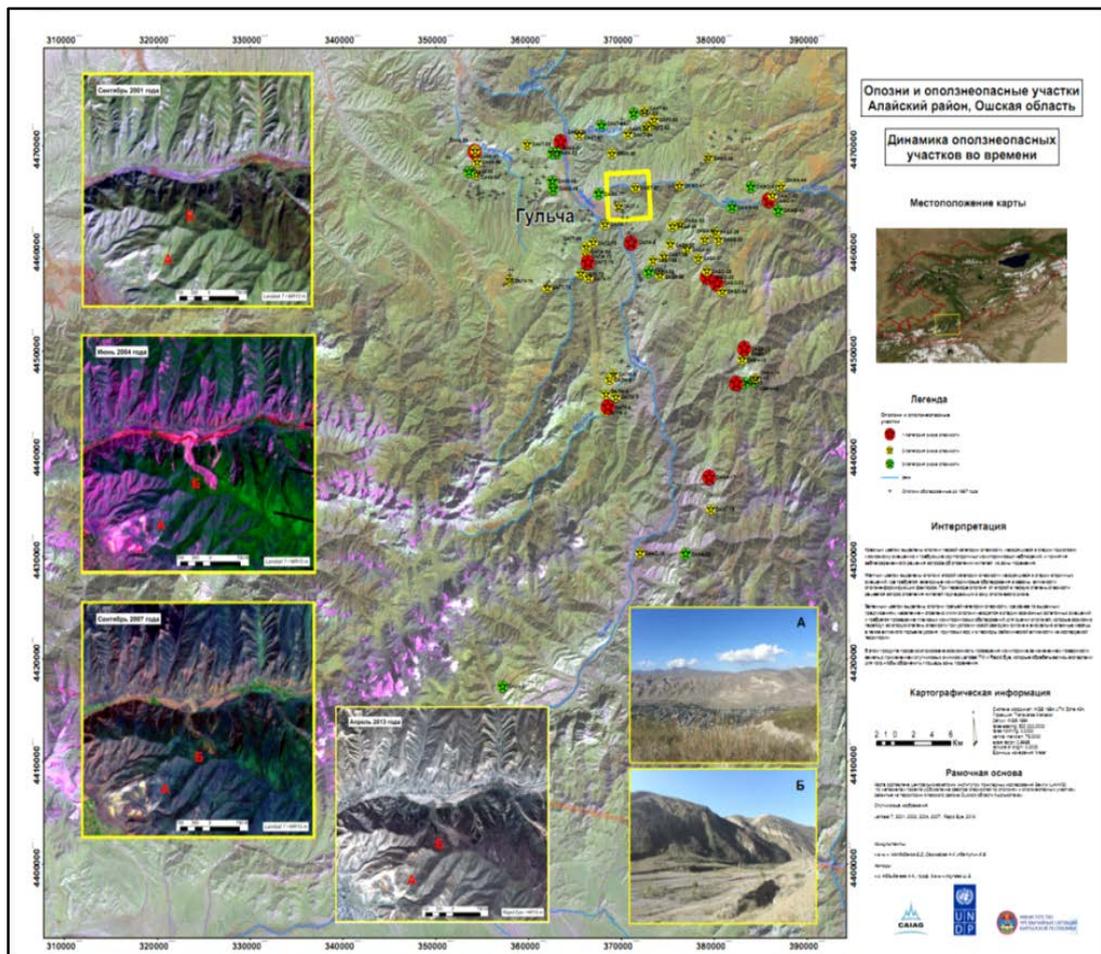


Рис. 1.2.16 Результирующая карта-схема оползнеопасных участков для территории Алайского района

Выводы:

1. В результате выполненных исследований на основе использования данных дистанционного зондирования, полевых измерений, ГИС уточнены условия формирования типичных оползней, особенности их строения и функционирования. В дальнейшем на оползневых участках предполагается продолжение топографических измерений, а так же отбор проб грунтов для изучения физико-механических свойств, гранулометрического, минералогического состава грунтов, из литологических разновидностей горных пород, слагающих основание оползня и вовлеченных в движение оползневым процессом. Необходимые анализы будут выполнены в специализированных лабораториях. Кроме этого в пределах участков предполагается отбор проб подземных вод на химический анализ. Это позволит более полно изучить условия формирования оползня и механизм его развития.

2. По результатам обследований выявлены и закартированы оползнеопасные участки с географической привязкой к местности. На основе полевых исследований и в совокупности с ранее изученными материалами были проанализированы и проранжированы опасные участки и переданы для дальнейшего использования в Департамент мониторинга ЧС КР с соответствующими выводами и рекомендациями.

1.3. Оползни, сейсмичность и геодинамика Тянь-Шаня

Оползни относятся к опасным природным процессам, происходящим на территории Кыргызстана. По данным МЧС до 30 % от ежегодного общего объема материального ущерба и человеческих потерь приходится на оползни. Поэтому изучению оползней в Кыргызстане уделяется большое внимание. На протяжении многих лет совместно с соответствующими подразделениями МЧС такие исследования проводили научные Институты Национальной Академии Наук Кыргызской Республики: геологии, механики горных пород, сейсмологии, а также Центр Исследований Земли (GFZ) Потсдам, Германия.

Оползни опасны не только сами по себе, но также последствиями, например, перекрытием русла рек с образованием подпружных водоемов, которые вследствие естественного размыва образуют селевые потоки, представляющие угрозу затопления населенных пунктов, инженерных сооружений, разрушения домов и хвостохранилищ, снос опасного материала в реки. Именно в силу этих обстоятельств большое внимание уделяется индивидуальному исследованию наиболее опасных оползней. Но для успешного прогнозирования оползневой активизации надо понимать природу этого явления в целом, в его взаимосвязи с другими природными рельефообразующими процессами и явлениями.

Основными факторами, влияющими на активизацию оползней, являются инженерно-геологические условия и атмосферные осадки, а также триггерное воздействие землетрясений. Исследования связи между количеством атмосферных осадков, как на территории Кыргызстана, так и в других регионах мира показывают 50-60%-ную корреляционную связь. Известны факты, когда оползень начинает свое движение в сухую погоду и до момента возникновения сильного землетрясения. Триггерное воздействие землетрясений, как правило, констатируется только по факту совпадения во времени этих двух событий. Общего сопоставительного анализа оползневой и сейсмической активизации по территории Кыргызстана ранее не проводилось. В 2009 году такие исследования начинает Центрально-Азиатский Институт прикладных Исследований Земли (ЦАИИЗ) для территории Чуйской впадины и ее горного обрамления по материалам наблюдений цифровой сети сейсмических станций KNET [Кальметьева и др., 2010; *Kalmetyeva and Moldobekov, 2011(a); Kalmetyeva and Moldobekov, 2011(б)*]. В 2011 году эти исследования продолжаются для территории Ферганской впадины и ее горного обрамления [Кальметьева и др., 2012]. При всем различии этих двух участков территории Тянь-Шаня как по истории развития, глубинной структуре, так и по характеру сейсмичности, наблюдаются некоторые общие закономерности, что дает основание делать предположения о природе оползневой активности.

1.3.1. Оползни Чуйской и Ферганской впадин и их горных обрамлений

Оползни Северного Тянь-Шаня пространственно связаны со структурами современных поднятий, надвигающихся на осадочные толщи Чуйской впадины и ограниченных с севера серией кулисно сопряженных разломов, которые выходят из-

под Кыргызского хребта и замедляются во впадине (**рис. 1.3.1**). Обращает на себя внимание тот факт, что крупные оползни, объем которых превышает $100\ 000\ \text{м}^3$, расположены вдоль узкой прямолинейной полосы субширотного простирания. На рисунке **1.3.1** эта линия усреднена пунктирной линией. Направление перпендикуляра к этой линии соответствует азимуту 355° . По-существу, это направление совпадает с направлением сил сжатия, вызывающих близширотное сокращение Тянь-Шаня. Это утверждение общепризнано и подтверждено результатами разного рода исследований, например: геоморфологическими исследованиями [Чедия, 1986; Садыбакасов, 1990 и др.], GPS-измерениями [Zubovich at all., 2010], а также изучением механизмов очагов землетрясений (МОЗ) [Ghose at all., 1998; Кальметьева и др., 2009 и др.]. В работе [Кальметьева и др., 2009] показано, что более 50% землетрясений территории Кыргызстана происходит в условиях субмеридионального сжатия. При этом максимальное количество событий, связанных с азимутом 355° , отмечается при близгоризонтальном положении оси сжатия (Plunge P до 45°). Таким образом, можно предполагать, что крупные оползни горного обрамления Чуйской впадины происходят на фронтальной линии субмеридионального близгоризонтального сжатия.

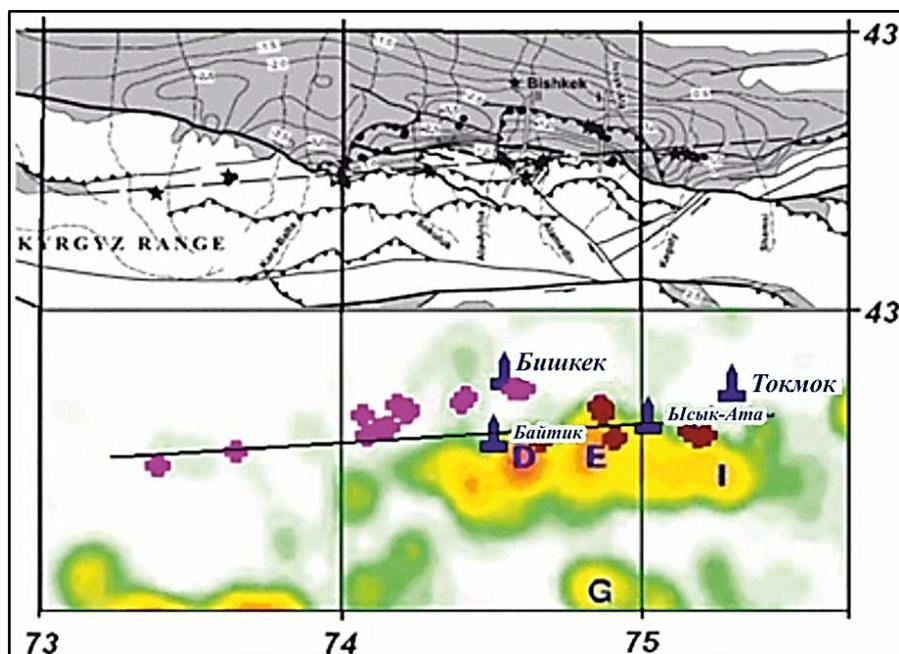


Рис. 1.3.1. Неотектоническая схема (верхний рисунок) по [Миколайчук и др., 2003] и оползни по [Ерохин и др., 2006]. Оползни древнего заложения отмечены залитыми кружками, звездочками обозначены крупные оползни, объем которых превышает $100000\ \text{м}^3$.

На рисунке **1.3.1** (**нижний рисунок**) обращает внимание также тот факт, что нет какой-либо отчетливой связи между положением оползней и скоплениями эпицентров землетрясений. Другим важным фактом является то, что оползни 2002 и 2006 года отделены в пространстве от оползней, активизировавшихся в 2004г., словно по меридиану 74.9° проходит какая-то граница раздела. В самом деле, геологические разрезы до глубинной отметки 4 км по профилям I-I и II-II (**рис. 1.3.2, а**), расположенным по разные стороны от меридиана 74.9° , существенно различаются. Более того, положение гипоцентров в скоплениях D-E и I, тоже расположенных по

разные стороны от меридиана 74.9° , не одинаково (рис. 1.3.2, б). Если скопления гипоцентров D и E занимают диапазон глубин 8-17 км, то в группе I, напротив, в этом диапазоне глубин нет ни одного гипоцентра, зато отчетливо видны два скопления гипоцентров выше (5-8 км) и ниже (17-25 км) этого диапазона. Метеоусловия в течение 2002-2006 гг. были одинаковыми на всех четырех метеопостах (рис. 1.3.1, нижний), следовательно, атмосферные осадки не могли быть причиной такого различия во времени активизации оползней.

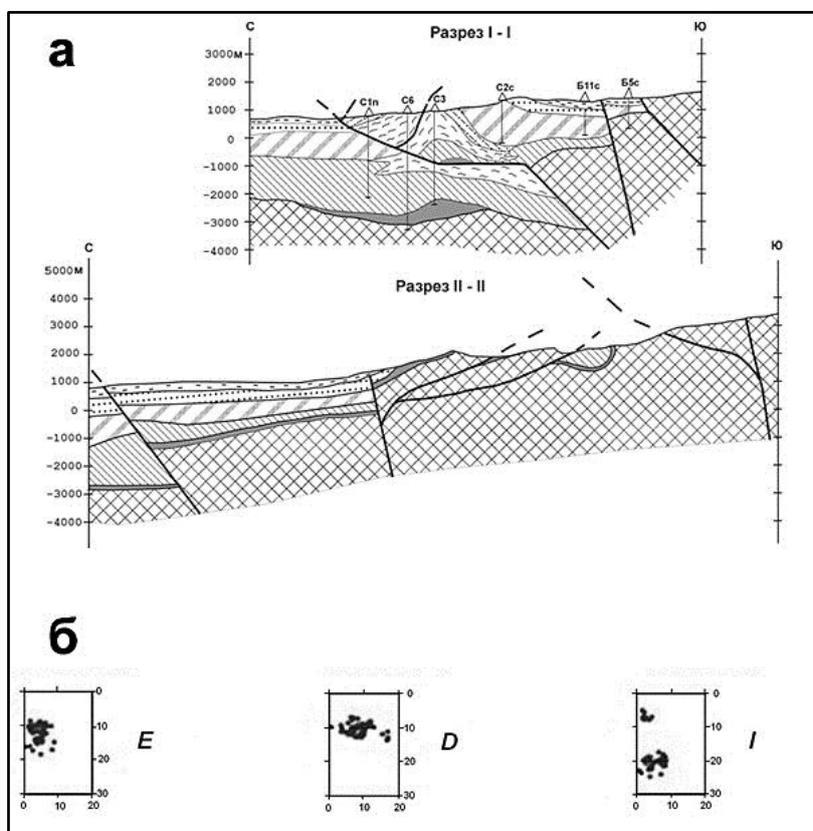


Рис. 1.3.2. Геологические разрезы по профилям I-I и II-II из работы [Миколайчук и др., 2003], показанные на рисунке 1.3.1, и широтные разрезы через скопления гипоцентров E, D и I из работы [Костюк, 2009].

Карта плотности эпицентров землетрясений по данным работы [Костюк, 2009] (нижний рисунок). Цветовая шкала показывает количество землетрясений за 1994-2006 гг. Значения плотности вычислялись с равномерным шагом в 1 км и радиусом осреднения 10 км. Буквами обозначены наиболее плотные скопления эпицентров. Розовыми крестиками обозначены оползни, которые произошли в 2002 и в 2006 гг., коричневыми – которые произошли в 2004 году.

Ферганская впадина и ее горное обрамление

Территория Ферганской межгорной впадины и ее горного обрамления существенно отличается от Чуйской впадины глубинной структурой, историей развития, инженерно-геологическими условиями, а также особенностями сейсмичности. Как отмечается в работе [Буртман, 2012]: «Кинематика кайнозойских

деформаций в восточном и северном горных обрамлениях Ферганской впадины связана с формированием Каратау-Ферганского транспрессивного поднятия, активностью Таласо-Ферганского сдвига и перемещением и вращением Ферганского жесткого блока.»

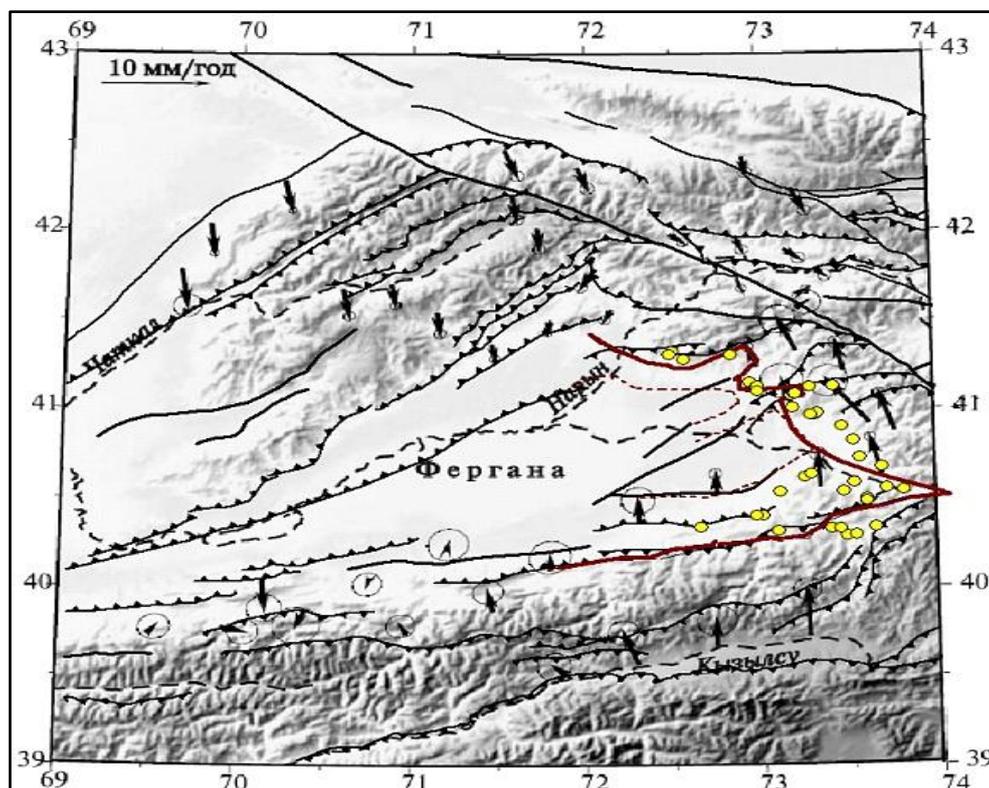


Рис. 1.3.3. Поле векторов перемещений пунктов GPS из работы [Буртман, 2012]. Границы зон с разным режимом новейших движений приведены по данным [Чедия, 1986], активные разломы – по данным Миколайчука А.В. [Кальметьева и др., 2009]. Крупные оползни ($V \geq 100000 \text{ м}^3$) по данным [Ибатулин, 2011]

В сравнении с Чуйской впадиной, где тектонические структуры и активные разломы простираются параллельно Киргизскому хребту, здесь картина гораздо сложнее. Если в северной части горного обрамления впадины тектоническая зональность (границы зон устойчивых поднятий и устойчивых опусканий) повторяет рисовку разлома – граница устойчивых поднятий проходит по Арсланбобскому разлому, то в северо-восточной части эти границы секут почти под прямым углом активные разломы (рис. 1.3.3). В восточной и южной частях горного обрамления Ферганской впадины границы тектонической зональности вновь пространственно совпадают с линиями активных разломов.

На рисунке 1.3.3 видно, что крупные оползни, так же как и для территории горного обрамления Чуйской впадины, располагаются вдоль узкой полосы. Здесь следует заметить, что в Ферганской долине происходят оползни значительно больших размеров, объем некоторых из них достигает 15-17 млн м^3 . Полоса крупных оползней в северном обрамлении территориально проходит по Арсланбобскому разлому, совпадая с границей устойчивых поднятий по (Чедия, 1986). Далее к востоку полоса

крупных оползней следует вдоль этой границы. В восточной же части обрамления впадины значительная часть крупных оползней располагается на территории зоны, которую Чедия О.К. характеризует как периферийные зоны межгорных впадин, представленные предгорьями и внутривпадинными поднятиями высотой 2-2,5 км, сформированные в четвертичное время на месте палеоген-неогеновых прогибов с опусканиями до 4 км (Чедия, 1986). Она расположена между границей устойчивых поднятий и границей устойчивых опусканий. Здесь происходит резкое изменение направления смещения пунктов GPS с северного на север – северо-западное. На участке северо-восточного обрамления направление смещения пунктов GPS северо-западное.

1.3.2. Анализ времени активизации оползней

Выше было сказано, что заметной связи местоположения оползней с пространственным распределением эпицентров землетрясений не отмечается. Однако можно использовать данные о механизмах очагов землетрясений (МОЗ) для характеристики поля напряжений, а именно для анализа угла между горизонтом и направлением действия сил сжатия. Именно этот параметр МОЗ представляет интерес, так как ранее отмечалось, что положение крупных оползней, возможно, контролируется фронтальной линией близгоризонтального сжатия. На рисунке 1.3.4 показаны временные графики этого параметра по данным землетрясений, входящих в скопления D, E и I, ближе всего расположенных к линии крупных оползней горного обрамления Чуйской впадины. Отчетливо видно, что в течение примерно 6 месяцев до активизации оползней, располагающихся слева от меридиана 74.9° , в 2002 и 2006 гг. происходила стабилизация горизонтального сжатия. Оползневая активизация совпадает во времени с резким отклонением сил сжатия от горизонта. Такая же картина наблюдается и для оползней, расположенных справа от меридиана 74.9° , активизировавшихся в 2004 году. В отличие от участков D-E, на участке I горизонтальное сжатие сохранялось дольше, почти 3 года – с начала 2001 года до конца 2003.



Рис. 1.3.4. Изменение во времени величины угла между горизонтом и осью сжатия в скоплениях D-E (верхний график) и I (нижний график).

На территории горного обрамления Ферганской впадины массовый сход оползней тоже происходит циклами. По данным работы [Meleshko at al., 2002] за вторую половину прошлого столетия здесь их было четыре (рис. 1.3.5). Первая активизация оползней в начале 50-х годов прошлого столетия начинается на территории поселка Майлисай на самом западном окончании полосы крупных оползней, показанных на рисунке 3.3.3. Возникновение здесь многочисленных оползней стало причиной создания в 1954 году на южной части территории Кыргызстана оползневой службы, а в 1957 году – оползневой станции. Во втором цикле активизации в 1969 году оползни перемещаются далее к востоку. В третьем цикле большая часть оползней происходит на территории восточного обрамления впадины. Здесь же происходит большое количество оползней в 1993 году (четвертый цикл). Одновременно в 4-м цикле происходит активизация оползней по всей полосе.

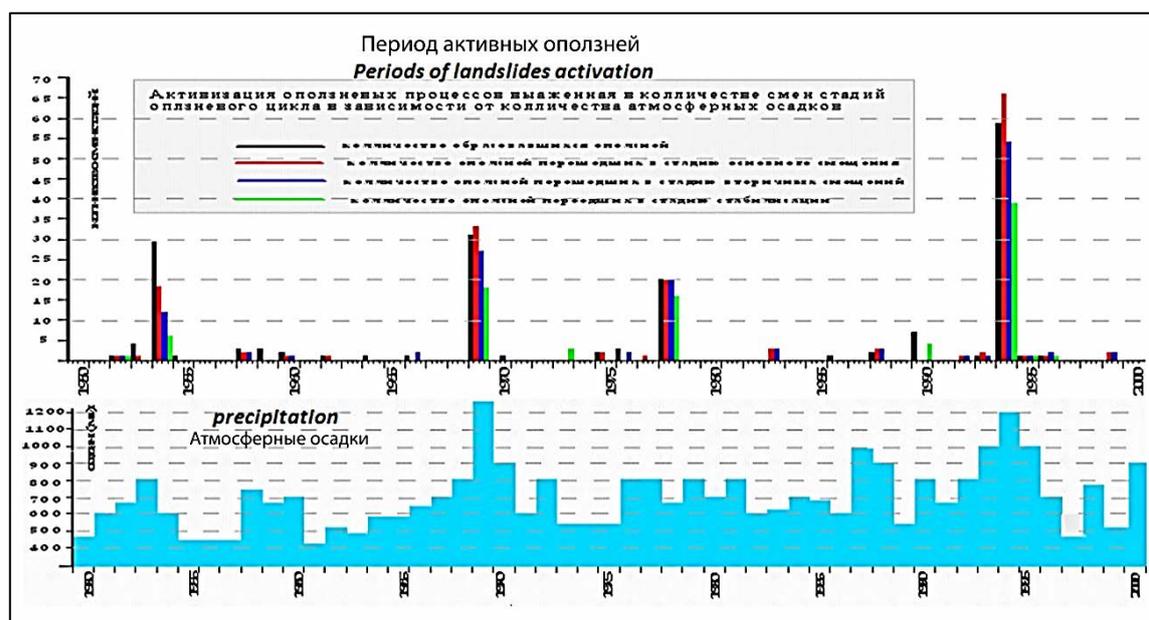


Рис. 1.3.5. Изменение во времени количества активизировавшихся и сошедших оползней (верхний рисунок) и количества атмосферных осадков (нижний рисунок) по данным работы [Meleshko et al., 2002].

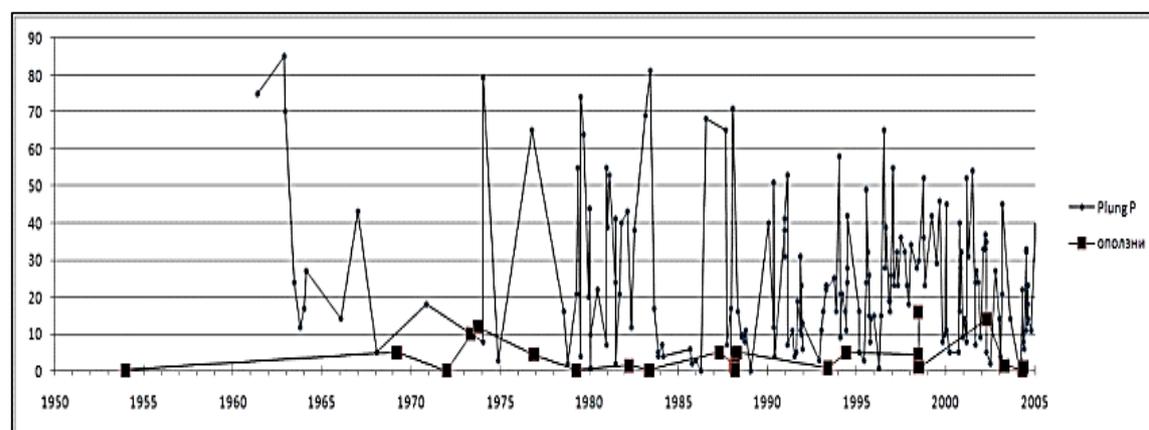


Рис. 1.3.6. Изменение во времени угла между направлением сжатия и горизонтом и размеров крупных оползней в млн. м³. Решения МОЗ по данным [«Землетрясения Северной Евразии»], данные об оползнях по работе [Ибатулин, 2011].

К сожалению решения МОЗ систематически начинают определяться только в 70-ые годы (рис. 1.3.6). За более ранние годы такие определения сделаны только для отдельных событий. По этой причине у нас нет возможности проследить за положением оси сжатия во времени за весь указанный период времени. Но даже данные за 30 лет дают представление о том, что направление действия сил сжатия не остается неизменным во времени (рис. 1.3.6). Оползни начинают активизироваться, когда ось сжатия отклоняется от горизонта, горизонтальное сжатие ослабевает и это способствует возникновению сбросовых подвижек.

На рисунке 1.3.6 приведена также информация о крупных оползнях. Можно видеть, что крупные оползни тоже происходят циклами: объем активизирующихся оползней увеличивается со временем, и после достижения некоторого максимума снова уменьшается. Последний такой цикл начинается в 1993 году и, достигнув максимума в 1998 году, завершается к 2005 году. В 1993 году возникает два оползня, объемом около 1 млн м³, один в Майлисае, а второй - в селе Сары-Булак в восточном обрамлении впадины. Оба оползня возникают за год до существенного увеличения количества выпадающих атмосферных осадков на фоне увеличивающегося угла оси сжатия с горизонтом. Массовый же сход оползней совпадает по времени со значительным увеличением количества атмосферных осадков. В это же время резким скачком увеличивается угол оси сжатия с горизонтом. Самые крупные оползни этого цикла (объемом до 17 млн м³) произошли в 1998 году, когда количество осадков значительно уменьшилось. Но на графике (рис. 1.3.6) видно, что в это время на фоне общего увеличения угла сжатия с горизонтом происходит опять же его скачкообразное увеличение. Очевидно, что количество атмосферных осадков существенно влияет на устойчивость склонов, покрытых глинистыми породами. Но толчком к сходу оползней оказывается изменение направления сил сжатия, а именно его отклонение от горизонтального положения.

Выводы

1. *Результаты проведенных исследований приводят к заключению, что оползневые процессы в первую очередь определяются современной геодинамической обстановкой. Крупные оползни происходят в пределах узких линейных зон, пространственно приуроченных к краевым частям современных структур поднятия. Циклическая активизация оползней совпадает по времени с заметным отклонением направления оси сжатия от горизонта. Атмосферные осадки ослабляют устойчивость покровов склонов и создают условия для их оползания.*

2. *Вместе с тем, привлекая данные о геодинамической обстановке региона, мы имеем дело с историей развития (режимы новейших движений - 20-30 млн лет, активные разломы - 10 тыс лет), тогда как обсуждаемые нами оползни активизировались в последние 50 лет и отражают состояние геодинамического процесса сегодня. В связи с этим, представляется актуальным, что для выявления мест оползневой опасности следует шире привлекать такие методы исследований, как GPS, космоснимки, сейсмические наблюдения. На рисунке 1.3.7 показаны эпицентры землетрясений в верхней части сейсмоактивного слоя района Ферганы.*

Видно, что они образуют широкие полосы северо-западного простирания. Полоса крупных оползней имеет такое же простирание, но образует отдельную полосу, не совпадающую с полосой эпицентров землетрясений.

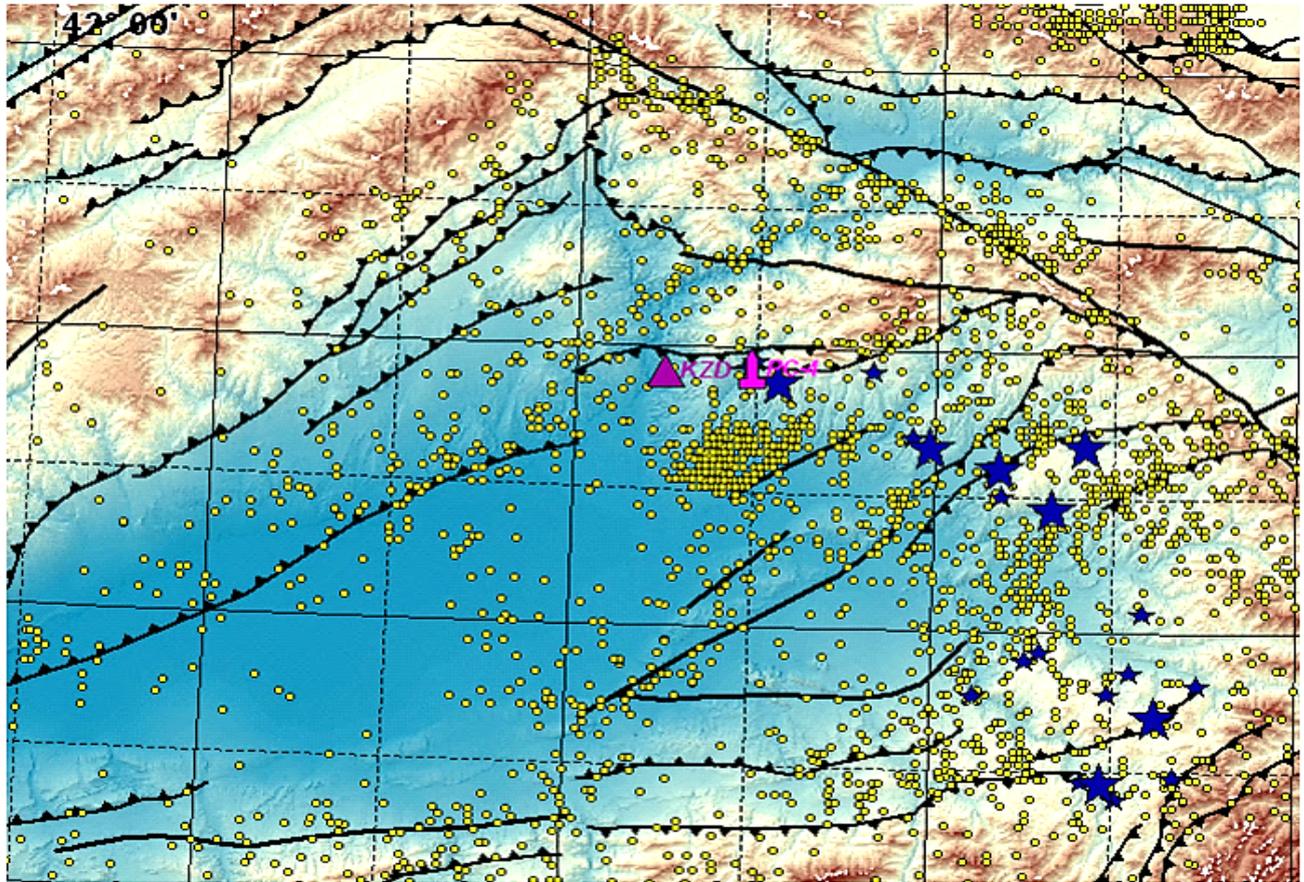


Рис.1.3.7. Карта эпицентров землетрясений за период 1996-2010 с глубинами гипоцентров 0-15 км. Звездочками обозначены крупные оползни по данным [Ибатулин, 2011]. Активные разломы приведены по данным А.В.Миколайчука [Кальметьева и др., 2009].

Вместе с тем на рисунке 1.3.8 можно видеть, что даже самые незначительные подвижки оползня, регистрируемые инструментально, совпадают по времени с возникновением сейсмических микротолчков, регистрируемых сейсмическими станциями. Нам представляется, что это свидетельствует о том, что оползневая и сейсмическая активность (исключая сильные разрушительные землетрясения, когда оползни могут вызываться сотрясениями поверхности земли) являются независимыми процессами, вызываемыми одной и той же причиной. Здесь уместно вспомнить рассуждения К.И.Богдановича [Богданович и др. 1914], приводимые им в работе, описывающей результаты обследования Кеминского землетрясения 1911 года. Он писал, что при обследовании разрушительных землетрясений важно различать первичные события, проясняющие динамику развития процесса разрушения, и вторичные процессы, которые были спровоцированы этими первичными процессами, тем более, что внешне те и другие не отличаются друг от друга.

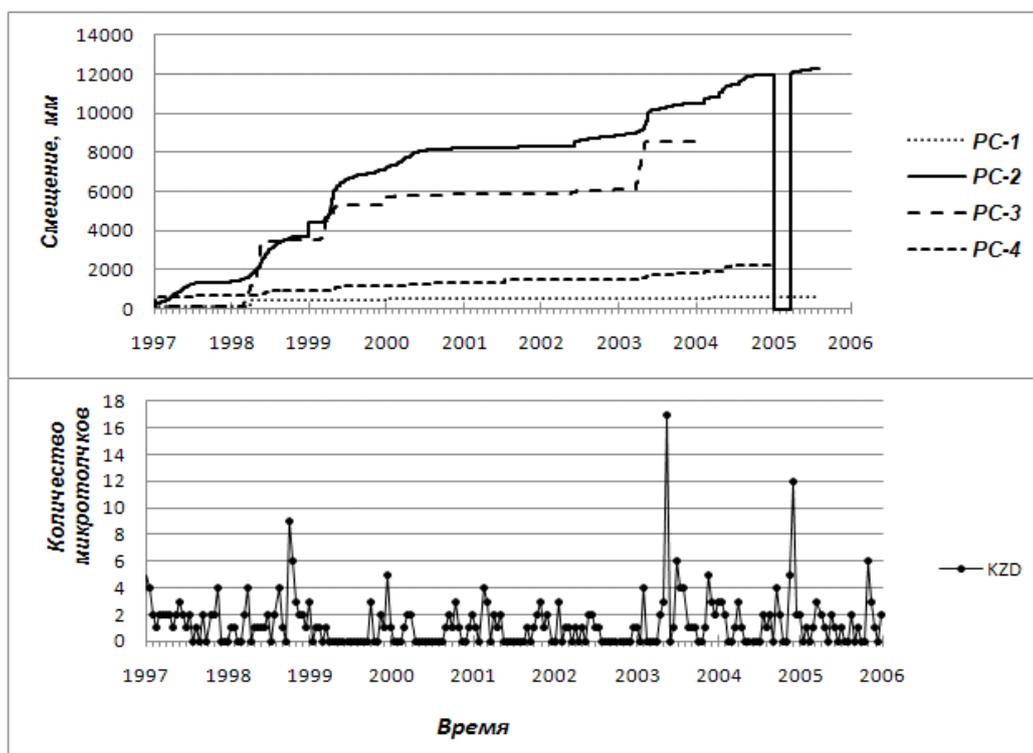


Рисунок 1.3.8. Сопоставление количества микротолчков (по данным [Кальметьева и др., 2012]), зарегистрированных сейсмической станцией Кызыл-Джар, с движением оползней Майлиса, регистрируемых инструментально в двух пунктах: PC-1- «Тектоник» (нижний график) и PC-4- «Верхний Кой-Таш» (верхний график) по данным [Торгоев, 2004].

1.4. Нуринское землетрясение 2008 года ($M=6,6$; $I_0 = 8$ баллов).

1.4.1. Полевые обследования

5 октября 2008 года в 15 часов 52 минут по Гринвичскому времени в восточном сегменте Алайской долины (Кыргызстан) произошло сильное землетрясение. Такого масштаба события представляют большой научный интерес, так как дают материал для изучения современной геодинамики района. Вместе с тем, поскольку поверхностные проявления таких событий занимают большие площади, включая труднодоступные участки, к их изучению привлекаются разные методы исследований.

Полевыми обследованиями выявлено следующее. Сотрясениями была охвачена обширная территория, включающая Ошскую, Баткенскую, Джалал-Абадскую, Нарынскую области Кыргызстана и приграничные районы Узбекистана, Таджикистана и Китая. Полностью разрушен поселок Нура (рис.1.4.1-А), погибло 74 человека. Дома, построенные из кирпича-сырца, разрушены полностью (152 строения) (рис. 1.4.1-Б, слева), щитовые деревянные дома повреждены незначительно (рис. 1.4.1-Б, вверху справа). В здании больницы, построенной из жженого кирпича, образовались сквозные трещины. Только одно новое здание школы, построенное в соответствии со строительными нормами, осталось без повреждений (рис. 1.4.1-Б, внизу справа). Поврежден железобетонный мост через реку Нура.



Рис. 1.4.1. Поселок Нура после землетрясения (А), типовые повреждения строений (Б) (фото Мелешо А.В.).

На асфальтовой дороге южнее и севернее моста образовались серии трещин шириной до 5 см, сопровождающиеся образованием складки «застывшей волны деформации» (рис. 1.4.2) и повторяемостью около 90 м, а между ними наблюдались сравнительно мелкие трещины шириной до 1 см и повторяемостью через 30 м [Абдрахматов и др., 2008; Годовой отчет ЦАИИЗ, 2008].



Рис. 1.4.2. Трещины (внизу) и «волны деформации» (вверху), образовавшиеся в пределах поселка Нура и его окрестностях в радиусе 2-3 км. (Фото Мелешко А.В.).

1.4.2. Структурное положение по данным геологии, сейсмологии и GPS наблюдений

Описание структурного положения Нуринского землетрясения составлено на основе анализа геологии района, материалов GPS-наблюдений и обработки сейсмограмм основного толчка и наиболее сильных афтершоков, записанных

временной сетью цифровых станций проекта TIRAGE [Зубович и др., 2009]. Нуринское землетрясение произошло при перемещении Заалайского хребта по надвигу на Алайскую впадину вследствие северо-западных сжимающих напряжений, обусловленных движением Индийской плиты на север со скоростью ~35 мм в год относительно Евразийской плиты [Зубович и др., 2007]. Основными морфоструктурными элементами данного региона являются Алайская впадина и обрамляющие ее Алайский и Заалайский хребты.

Алайский хребет представлен палеозойскими отложениями Южного Тянь-Шаня, по южному склону которого с несогласием залегают мел-палеогеновые осадочные породы Таджикского моря и сопряженные с ними континентальные отложения. Южная часть рассматриваемого района ограничена приводораздельной частью и южными склонами Заалайского хребта. Здесь получили развитие палеозойские комплексы Северного Памира, переместившиеся по Каракульскому надвигу (1 на рис. 1.4.3) на север не менее чем на 300 км, тектонически перекрыв южные зоны мел-палеогенового Таджикского бассейна [Burtman, 2000; Трифонов, 1999; Strecker et al., 2003].

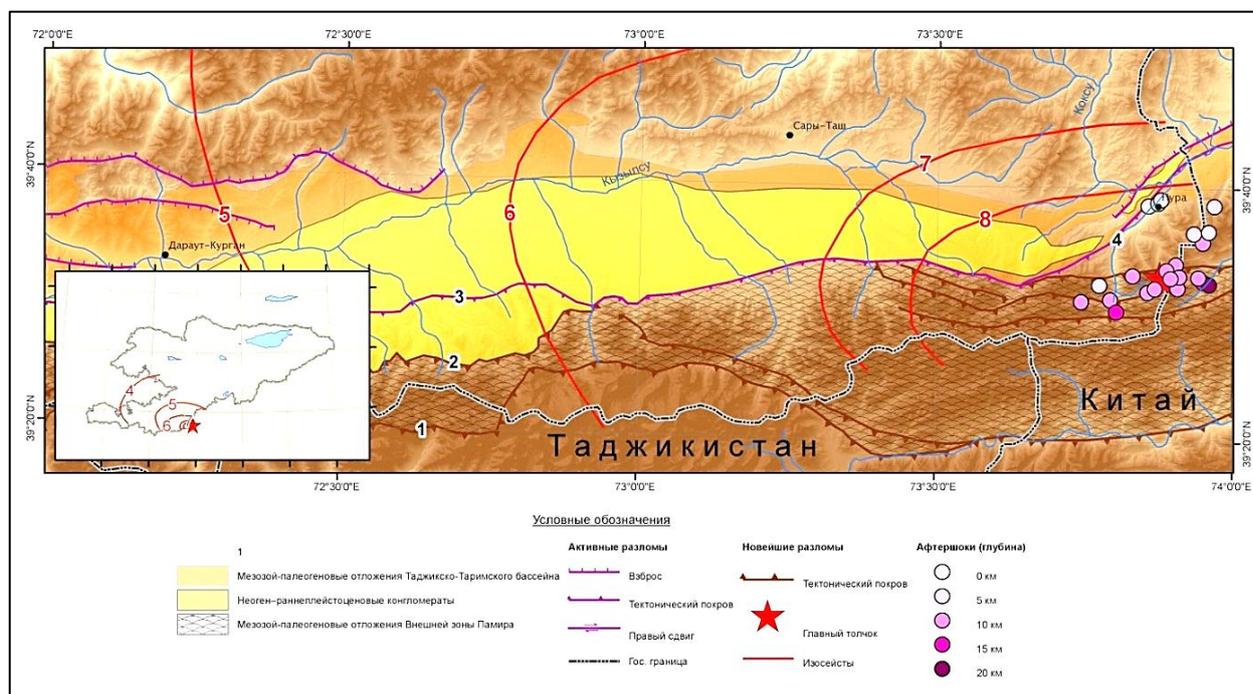


Рис. 1.4.3. Неотектоническая схема очаговой области Нуринского землетрясения 2008 года, $M=6.6$, $I_0=8$ баллов, составленная А.В. Миколайчуком [Атлас землетрясений Кыргызстана, 2009].

В результате перемещения Памира во фронтальной части Каракульского надвига сформировалась внешняя зона Памира, представленная каскадом тектонических покровов, сложенных юрскими, меловыми и палеогеновыми отложениями, смятых в ассиметричные и опрокинутые складки [Трифонов, 1999]. Северной границей Внешней зоны Памира является Вахш-Заалайский надвиг (2 на рис. 1.4.3), по которому каскад тектонических покровов перекрыв относительно недеформированные отложения мел-палеогенового разреза днища Алайской впадины [Burtman, 2000; Трифонов, 1999; Никонов и др., 1983]. Впадина выполнена неоген-раннеплейстоценовыми

конгломератами, с несогласием залегающими на ее мел-палеогеновом днище. В среднем и позднем плейстоцене неоген-раннеплейстоценовые конгломераты вдоль северного склона Заалайского хребта также вовлекаются в поднятия, образуя новую серию покровов. Это самые молодые надвиги (3 на **рис. 1.4.3**), по сути, являющиеся дальнейшим развитием каскада покровов Внешней зоны Памира [Трифонов, 1999; Strecker et al., 2003].

Как свидетельствуют остаточные деформации плейстосейстовых областей сильных землетрясений, эти надвиговые разломы активизированы и на современном этапе, обуславливая сейсмичность данного региона [Никонов и др., 1983]. По частоте, плотности и силе землетрясений сейсмоактивная зона сочленения Памира с Тянь-Шанем является одной из крупнейших в мире [Никонов и др., 1983]. Интенсивность землетрясений может достигать $I_0 \geq 9$, а максимально возможная магнитуда $M \geq 7,5$. Ширина сейсмоактивной зоны составляет 30 км. В нее укладываются все плейстосейстовые области наиболее сильных событий [Бунэ, Горшков (ред.), 1980; Турдукулов, 1996]. Здесь чаще, чем в других сейсмоактивных районах Центральной Азии происходят землетрясения магнитудой $M \geq 6$: Хаитское $M=7,4$ 1949 года, Маркансуйское $M=7,3$ 1974 года, Дараут-Курганское $M=6,8$ 1978 года, Алайское $M=6,1$ 1983 года. Для землетрясений с $M < 6$ подавляющее большинство подвижек также составляют надвиги и сдвиги [Кучай, Бушенкова, 2008; 2009; Кальметьева, 2005; 2006].

Во время Нурина землетрясения в районе Алайской долины находилось несколько временных станций Центра исследования Земли Германии, оснащенных цифровой широкополосной аппаратурой с GPS привязкой по времени. Это позволило достаточно надежно определить местоположение и глубины залегания гипоцентров основного толчка и афтершоков [Зубович и др., 2009]. Гипоцентр основного толчка располагается на глубине 10 км в месте наибольшего скопления афтершоков, образовавших полосу восток-северо-восточного простирания шириной 15-20 км.

Вдоль этой полосы маркируется несколько разломов, которые с юга на север омолаживаются. Разрушенный землетрясением поселок Нура расположен у выхода на поверхность самого северного и молодого из данной серии - Иркештамского надвига. Вблизи него произошло несколько неглубоких афтершоков. Гипоцентры остальных афтершоков смещены на юг, причем, чем южнее событие, тем оно глубже. Наблюдается явная приуроченность афтершоковой активности к разломной зоне, наклонно погружающейся к юго-юго-востоку до глубины не менее 15-20 км. Исходя из глубины главного толчка и удаленности его от линии Иркештамского надвига, можно судить об угле наклона данной зоны, равном $\sim 45^\circ$. Это значение угла наклона подтверждается решением механизма очага для главного толчка, определенного в Центре Данных Геологической службы США (www.neic.cr.usgs.gov).

Важным источником информации о современной геодинамике региона являются данные GPS (спутниковая геодезия). По данным наблюдений научной станцией (НС РАН) и Сейсмологического бюро Синьцзян-Уйгурского автономного района были рассчитаны векторы скоростей деформаций [Abdrakhmatov et al., 1996; Зубович и др., 2004] (**рис. 1.4.4**).

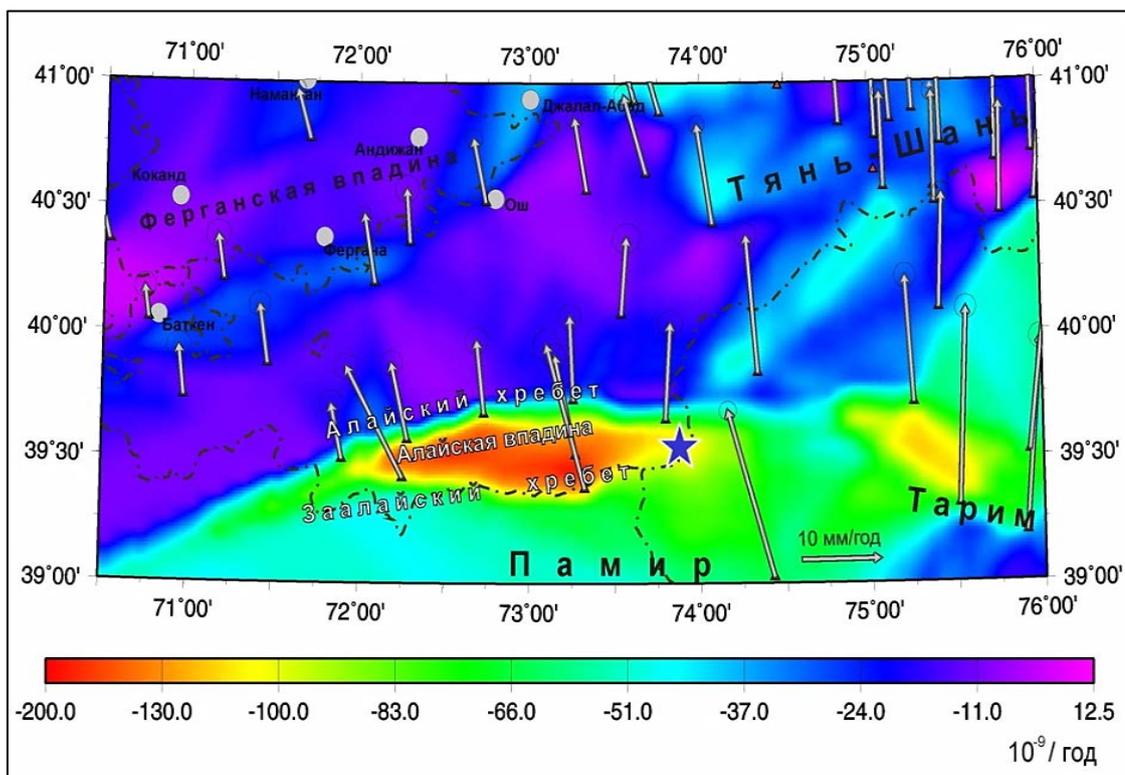


Рис 1.4.4. Поле векторов скоростей (стрелки) и скорости (в цвете) деформации. Синяя звездочка – эпицентр Нурина землетрясения.

Результаты указывают на существенную скорость сближения Памира и Тянь-Шаня, не менее 7 мм/год. На этом же рисунке представлено и поле скорости деформации, которое, в отличие от векторов, не зависит от системы отсчета и лучше прорисовывает детали. Одна из зон повышенных деформаций протянулась вдоль границы Памира с Тянь-Шанем, но, как видно на рисунке 3.5.4, главный толчок Нурина землетрясения произошел вне деформационной зоны, на ее восточном фланге. Вероятнее всего, это не случайность. Данные GPS наблюдений позволяют обнаружить медленные, криповые движения, которые другими, не геодезическими методами не фиксируются. Выявленная зона повышенных деформаций на фронтальном участке Памирского выступа отражает, по-видимому, криповые движения при надвигании Памира на Алай, что должно приводить к постоянной разрядке напряжений на этом участке. На флангах зоны таких движений нет, поэтому сброса упругой энергии не происходило, и это, в свою очередь, создавало условия для подготовки землетрясения. Разрядка произошла 5 октября 2008 года вблизи горного селения Нура при достижении уровнем напряжений предела прочности пород.

1.4.3. Результаты дистанционного исследования

Более детальную информацию о поверхностных деформациях можно получить с применением методов дистанционного зондирования. Для исследования последствий данного землетрясения были использованы методы радарного спутникового дистанционного зондирования, в частности, данные L-диапазонного ALOS / PALSAR и C-диапазонного ENVISAT, а также исследовали движения масс с

использованием SAR интерферометрии (InSAR) и методов определения смещения пикселей [Тешебаева и др., 2014]. Было обработано 16 изображений в восходящем порядке, полученных со спутника ALOS, и 7 изображений в нисходящем порядке, полученных со спутника ENVISAT, за период от 8 мая 2008 года до 20 августа 2009 года, и созданы дифференциальные интерферограммы и карты смещения пикселей.

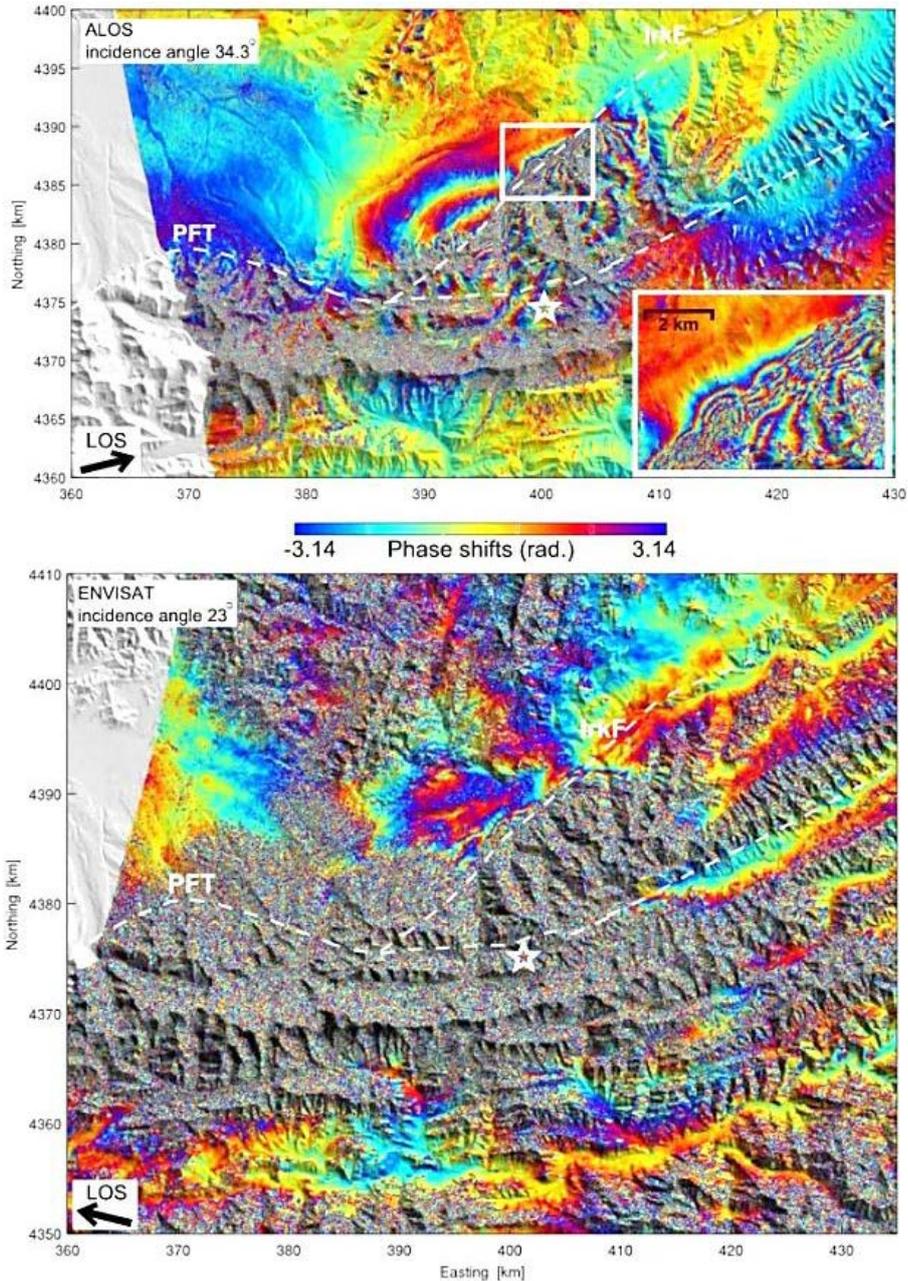


Рис. 1.4.5. ALOS (верхний) и ENVISAT интерферограммы (нижний) показывающие смещение поверхности в пределах прямой видимости (LOS) вблизи эпицентра Нурина землетрясения (белая звезда). Белые штриховые линии выделяют Памирский фронтальный надвиг (PFT) и Иркештамский разлом (IrkF). Врезка на верхнем рисунке в увеличенном виде показывает уступы в интерферометрических фазовых значениях, указывающих на поверхностный разрыв (рис. 1.4.6) [Teshbaeva et al., 2014]

В восходящих интерферограммах ALOS наблюдается четкое ко-сейсмическое смещение к северу от лежачего крыла Памирского фронтального надвига и в висячем крыле Иркештамского разлома. На этих участках замерены значимые и внезапные

изменения положительных и отрицательных смещений вдоль линий прямой видимости, примерно - 24 см и 48 см, соответственно. В соответствующей нисходящей интерферограмме ENVISAT наблюдается расширенное движение по направлению к спутнику севернее Иркештамского разлома со смещением поверхности вдоль линий прямой видимости равным 6 см (Рис.1.4.5, Рис.1.4.6).

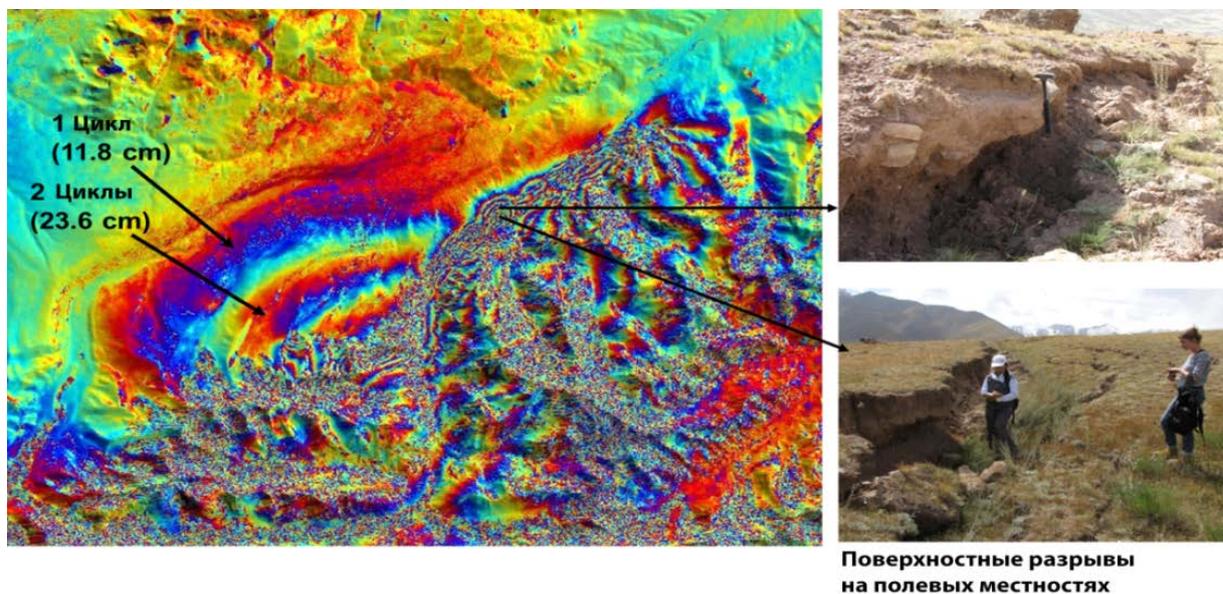


Рис. 1.4.6. ALOS интерферограмма деформированной области, подтвержденная полевыми обследованиями. Черные стрелы указывают на местоположение поверхностных разрывов, подтвержденных во время полевых исследований в 2012 году [Teshebaeva at all., 2014].

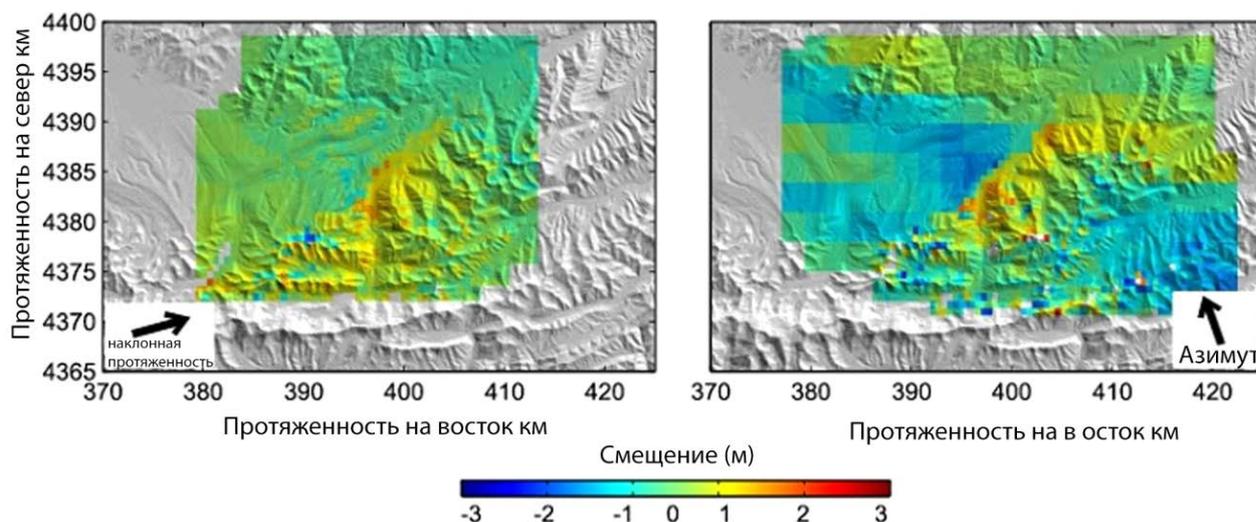


Рис.1.4.7. Измерения диапазонного ALOS (левый рис.) и азимутального (правый рис.) смещения пикселей. Азимутальные смещения дают чисто горизонтальные смещения поверхности в направлении, параллельном направлению полета спутников (правый рис., черная стрела) [Teshebaeva at all., 2014].

Из проведенного анализа следует:

- Нуринское землетрясение возникло на Памирском фронтальном надвиге, где основная часть ко-сейсмической деформации возникла на опущенном крыле;

- наблюдаются поверхностные разрывы вдоль Иркештамского разлома к северу от Памирского фронтального надвига, где не зафиксировано афтершоков после основного толчка [Teshebaeva at all., 2014];
- на поднятом крыле Иркештамского разлома наблюдаются более крупные поверхностные смещения, чем на опущенном (**Рис.1.4.5, 1.4.6, 1.4.7**) [Тешебаева и др., 2014].

1.5. Особенности пространственно-временного распределения сильных землетрясений Центральной Азии

В ноябре 2010 года ЦАИИЗ приступает к созданию каталога землетрясений территории Центральной Азии. Через программный комплекс SeisComP в ЦАИИЗ в режиме реального времени поступали непрерывные потоки волновых форм с сейсмических станций ЦАИИЗа, станций сетей CAREMON, KRNET и KNET, а также около 30 сейсмических станций международных сетей. Первичная обработка производилась автоматически комплексом SeisComP. Затем оператор выбирал из автоматического каталога события в пределах координат: 26° - 57.5° , N и 46.5° – 87° , E. В случаях, когда погрешность определения (RMS) времени в очаге была больше, чем 2 сек, оператор производил ручную пикировку фаз и повторял определение эпицентра. Если такие события происходили на территории Кыргызстана, то их записи обрабатывались также программами Seisan и Elwin. Оказалось, что события с большим RMS происходят в краевых частях территории, когда все пункты наблюдений располагаются по одну сторону от сейсмического события (т.е. $\text{gap} > 180^{\circ}$). При этом результаты обработки программами Seisan и Elwin показывали меньшие значения RMS. Причиной расхождений оказалось то, что годограф прямых волн, заложенный в программу SeisComP, соответствует осредненному годографу земной коры платформенного типа, тогда как в программах Seisan и Elwin мы закладывали годограф для территории Кыргызстана (Грин, Кальметьева, 1978; Грин, 1993). Кроме того, в случаях, когда пути пробега прямых волн от очага землетрясения к сейсмическим станциям ЦАИИЗа пролегли вдоль Кокшаальского хребта, значительно увеличивалось время пробега волн (до нескольких секунд), что вносило погрешности в определение координат эпицентра. Если же эпицентр землетрясения располагался к северу от Кокшальского хребта, таких отклонений не наблюдалось. Отмечаемые факты хорошо согласуются с имеющимися сведениями о скоростном строении земной коры района Кокшаала. По данным Т.М.Сабитовой (Бакиров (Отв. ред.), 2006) глубина границы Мохоровичича здесь опускается до глубин около 100 км. Нами было принято решение не вносить изменений в исходные данные программы SeisComP, так как она предназначена для определения координат эпицентров в пределах всей Центральной Азии, а не только по территории Кыргызстана.

В июле 2011 года данные сети KNET перестают поступать в FDSN и, следовательно, в ЦАИИЗ. Очевидно, что дальнейшее составление каталога для территории Кыргызстана потеряло смысл, тем более, что такой каталог составляется в Институте сейсмологии НАН КР. Отключение сети KNET от FDSN не повлияло на состояние сети наблюдений ИС, так как ИС получает эти данные напрямую. Прекращение поступления

данных сети KNET в ЦАИИЗ не помешало продолжать регистрировать сильные землетрясения ($M \geq 5$) по всей территории Центральной Азии (рис. 1.5.1-1.5.2). Автоматический каталог этих событий доступен на сайте ЦАИИЗа - www.caiag.kg. По существу, составляемый нами каталог является каталогом разрушительных землетрясений Центральной Азии. Анализ пространственно-временного поведения землетрясений на основе этого каталога позволяет изучать закономерности проявления разрушительных событий в Центральной Азии.

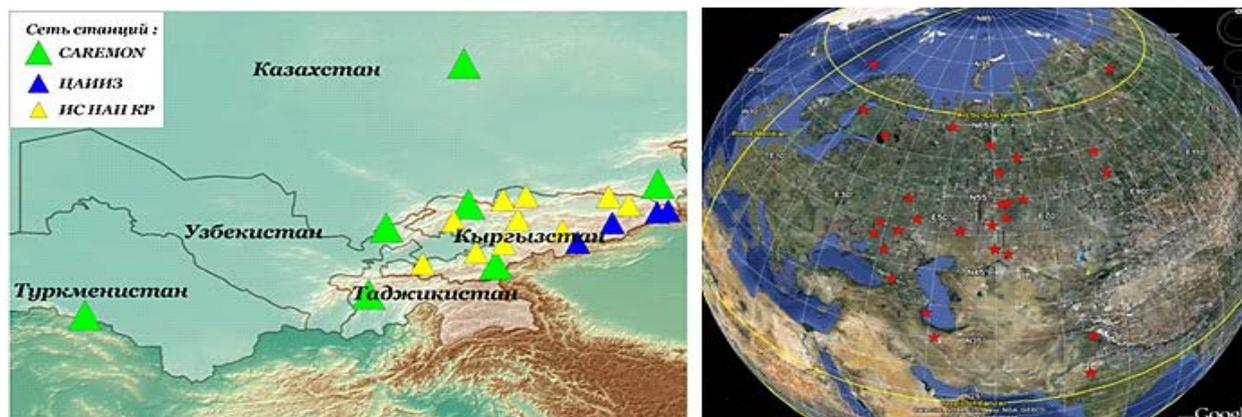


Рис. 1.5.1. Сейсмические станции, данные которых поступают в ЦАИИЗ

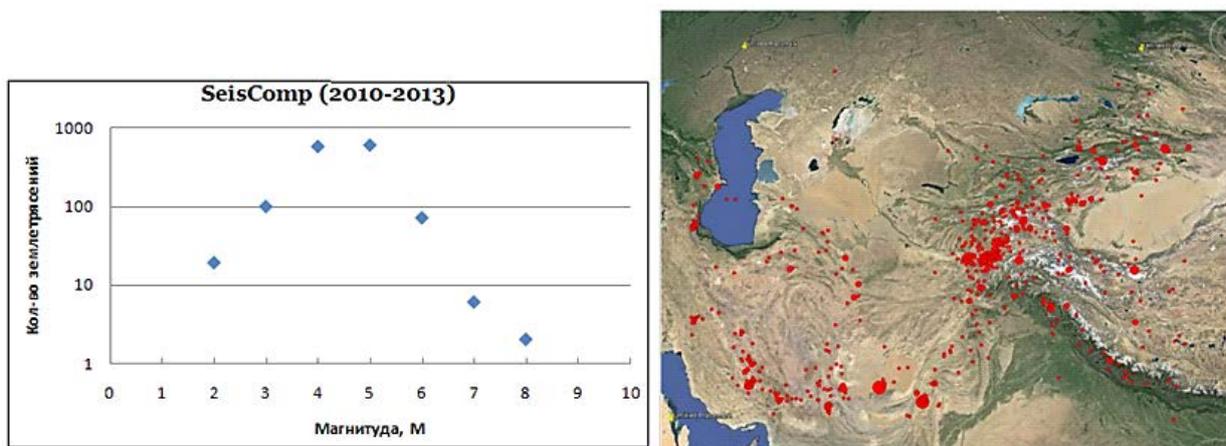


Рис. 1.5.2. График повторяемости (слева) и карта эпицентров землетрясений (справа) по данным каталога ЦАИИЗ за 2010-2013 гг.

На рисунке 1.5.2 (справа) показаны эпицентры землетрясений, по данным каталога ЦАИИЗ за 2010-2013 гг. Видно, что эпицентры закономерно распределены вдоль некоторых линий. Для сопоставления с сейсмичностью региона за предыдущие годы мы воспользовались картой эпицентров за 1900-2012, помещенной на сайте USGS (<http://earthquake.usgs.gov>). На рисунке 1.5.3 показана эта карта с нанесенными на нее эпицентрами землетрясений по данным каталога ЦАИИЗ за 2010-2013 гг. (красные кружки). Видно, что эпицентры сильных землетрясений 2010-2013 гг. располагаются в пределах тех же узких полос, где происходили сильные землетрясения в течение последних 100 лет.

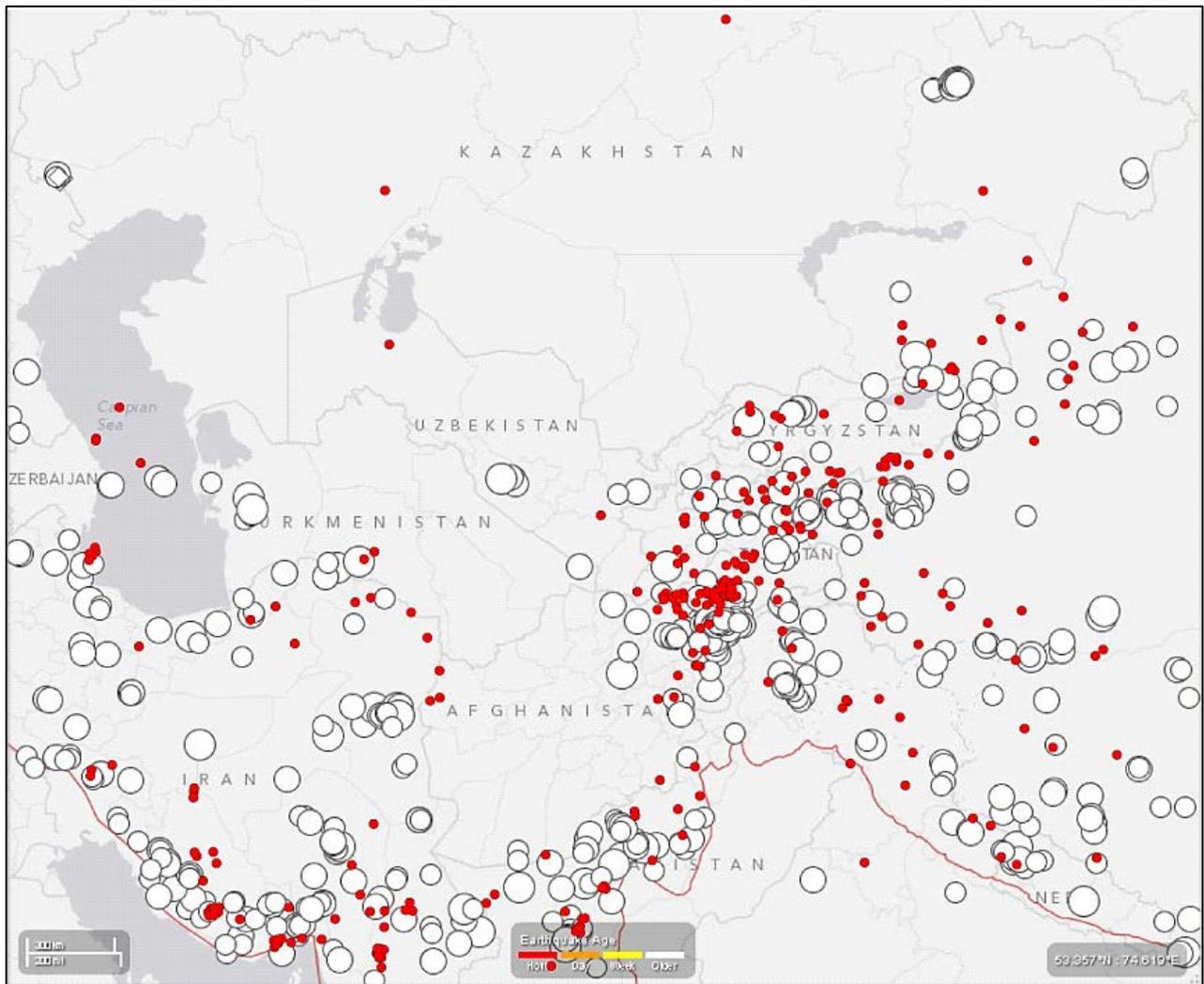


Рис. 1.5.3 Карта эпицентров землетрясений с $M \geq 5$ по данным USGS (копия карты с сайта <http://earthquake.usgs.gov>) за 1900-2012 гг. (полые кружки) и по каталогу ЦАИИЗа за 2010-2013 гг. (красные кружки).

Для проведения анализа пространственно-временного распределения землетрясений региона нами был составлен сводный каталог за период времени 1850-20013на основе каталогов USGS, GFZ, ИС НАН КР, ЦАИИЗ и каталога, составленного в рамках проекта ISTC-KR1176. Следует отметить, что составление сводного каталога по данным названных источников представляет трудную задачу. Эпицентры некоторых землетрясений по данным разных каталогов отстоят друг от друга иногда на расстоянии до 100 км. Энергетические оценки землетрясений в разных каталогах представлены разными видами магнитуд. Поэтому результаты проведенного анализа следует рассматривать только в самом общем виде. Были построены графики время - магнитуда, а также графики изменения во времени координат эпицентров землетрясений по широте и долготе, как в целом по всей территории, так и по отдельным районам.



Рис. 1.5.4. Изменение во времени широты (вверху) и долготы (внизу) эпицентров сильных ($M \geq 6.5$) землетрясений Центрально-Азиатского региона.

Графики на рисунке 1.5.4 показывают, что эпицентры сильных землетрясений перемещаются во времени, то отдаляясь, то приближаясь к точке с координатами примерно 36° - 37° N по широте и 70° - 71° , E по долготе, т.е. относительно глубокофокусной Гиндукшской зоны. Построение подобных графиков по отдельным районам рассматриваемой территории показывает, что такое перемещение происходит циклами, длительностью примерно 45-50 лет.

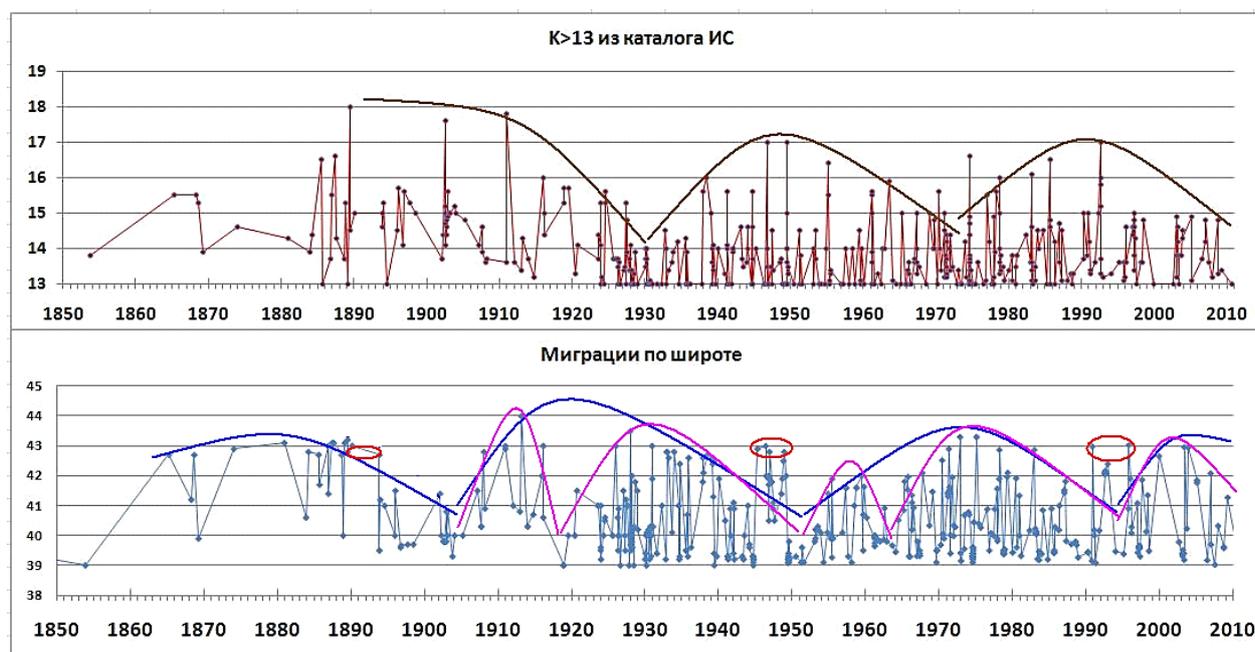


Рис. 1.5.5. Изменение во времени энергетического класса сейсмических событий (вверху) и широты их эпицентров (внизу) для Памиро-Тянь-Шанского района.

Но по разные стороны от Гиндукуша наблюдаются свои особенности миграций. Так, в районе Памир-Тянь-Шаня (рис. 1.5.5) прослеживается примерно 45-летняя цикличность как в изменении энергетического класса землетрясений (верхний рисунок), так и перемещения эпицентров по направлению север-юг (нижний рисунок). Видно, что в целом энергетический уровень событий увеличивается при перемещении эпицентров землетрясений к югу (т.е. максимумы верхнего графика соответствует минимумам нижнего графика). При этом, циклы перемещения эпицентров состоят как бы из двух подциклов. Более того, в конце каждого цикла перемещения эпицентров (нижний график) появляются события, нарушающие общую закономерность. Это сильные события, происходящие на Северном Тянь-Шане. Они возникают, когда эпицентры землетрясений переместились к югу и на севере, казалось бы, наступает затишье. Другими словами, сильные землетрясения Северного Тянь-Шаня происходят на фоне затишья. В 1946 году – это было Чаткальское землетрясение ($M=7.4$), в 1992 – Суусамырское ($M=7.3$). Если мысленно продолжить эти графики, предполагая, что отмеченная закономерность будет выполняться и в будущем, то очередной цикл миграции эпицентров завершится к 2030 году. Тогда, примерно в 2020-2030 гг. следует ожидать сильное землетрясение с магнитудой не менее, чем $M=7$ на Северном Тянь-Шане в диапазоне широт 42° - 43° .

К западу от Гиндукуша эпицентры сильных землетрясений мигрируют по кругу. На рисунке 1.5.6 слева желтыми звездочками отмечены эпицентры сильных землетрясений, происходивших с 1930 по 1985 гг. Цифры от 1 до 10 около них показывают порядок возникновения этих землетрясений во времени. Получается, что с 1930 по 1985 год эпицентры этих землетрясений сначала удалялись, а потом приближались к Гиндукушу, перемещаясь при этом по кругу против часовой стрелки.

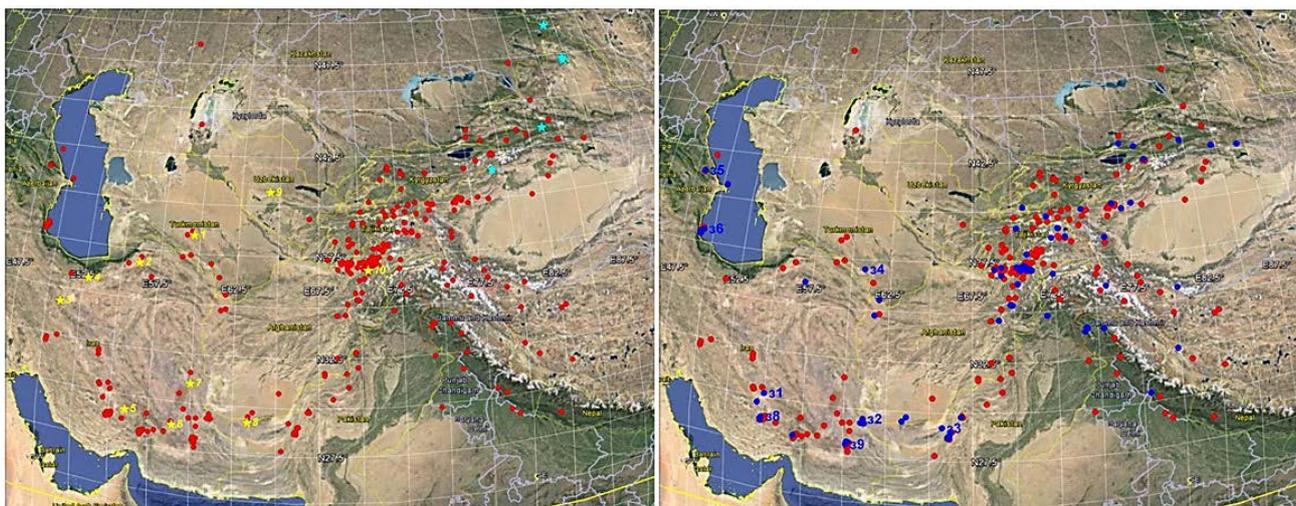


Рис. 1.5.6 Эпицентры сильных ($M \geq 6,5$) землетрясений Центральной Азии с 1900 по 2005 гг. (слева) по данным сводного каталога и эпицентры землетрясений и с $M \geq 5$ за 2010-2013 гг. по данным каталога ЦАИИЗ (справа).

Такая же закономерность перемещения наблюдается и для более слабых ($M=5-6$) событий по данным каталога ЦАИИЗа за 2010-2013 гг. (рис. 1.5.6 справа). Цифры около эпицентров показывают, что по верхнему краю района эпицентры перемещаются к западу, а по нижнему краю - к востоку, т.е. по кругу против часовой стрелки.

Здесь приведены лишь отдельные эпизоды сейсмической активности региона. Но и эти эпизоды с достаточной очевидностью говорят в пользу того, что весь Центрально-Азиатский регион находится под воздействием единого геодинамического механизма, определяющего сейсмическую активность. В связи с этим следует еще раз подчеркнуть необходимость трансграничного сотрудничества, объединения усилий для ясного понимания закономерностей сейсмичности и, следовательно, правильной оценки сейсмического риска региона.

1.6. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов

Сейсмическое микрорайонирование нацелено на количественную оценку сейсмического воздействия грунтов на территориях промышленного и гражданского строительства. Это позволяет произвести расчеты сейсмостойкости конкретных сооружений и в итоге - выбрать оптимальные варианты размещения объектов строительства, что является одним из важнейших элементов в комплексе защитных мероприятий, обеспечивающих повышение безопасности жилищно-гражданского, промышленного и сельского строительства в сейсмических районах.

Существующие карты сейсмического микрорайонирования в Кыргызстане были составлены в советское время. С тех пор изменилась конфигурация населенных пунктов, появились новые типы строений, а также активно развиваются новые технологии оценок сейсмического воздействия с использованием цифровой аппаратуры. В рамках настоящего проекта были выполнены работы по определению частотно-резонансных характеристик грунтов по территориям городов Бишкек, Каракол, Душанбе, Хорог. Аналогичные исследования начаты для городов Нарын, Алма-Ата.

Проводились три разных вида инструментальных измерений:

площадные записи сейсмических шумов

Площадки выбирались так, чтобы они располагались на участках территории города с разной величиной сейсмической интенсивности, показанной на последней карте сейсмического микрорайонирования рассматриваемого населенного пункта. Записи шумов велись на протяжении примерно четырех часов. Задача состояла в определении скоростного разреза верхних слоев земной коры под каждой площадкой по записям поперечных волн и поверхностных волн Лява и Рэлея.

точечные измерения сейсмических шумов

Проводились 30-минутные записи шумов в отдельных точках. Точки были распределены по территории рассматриваемого населенного пункта с учетом существующей площади и территорий планируемой застройки на 10-15 лет. Отобранные записи шумов обрабатывались стандартной методикой (метод Накамура) для определения резонансной частоты верхнего слоя и его мощности.

запись землетрясений

Сейсмические станции для записи землетрясений устанавливались в пунктах, охватывающих все основные грунтовые комплексы. Кроме того, выбирались «эталонные» пункты, а также зоны влияния активных разломов. Записи велись в течение нескольких месяцев. В зависимости от расположения станций относительно друг друга и эпицентра землетрясения использовались два подхода.

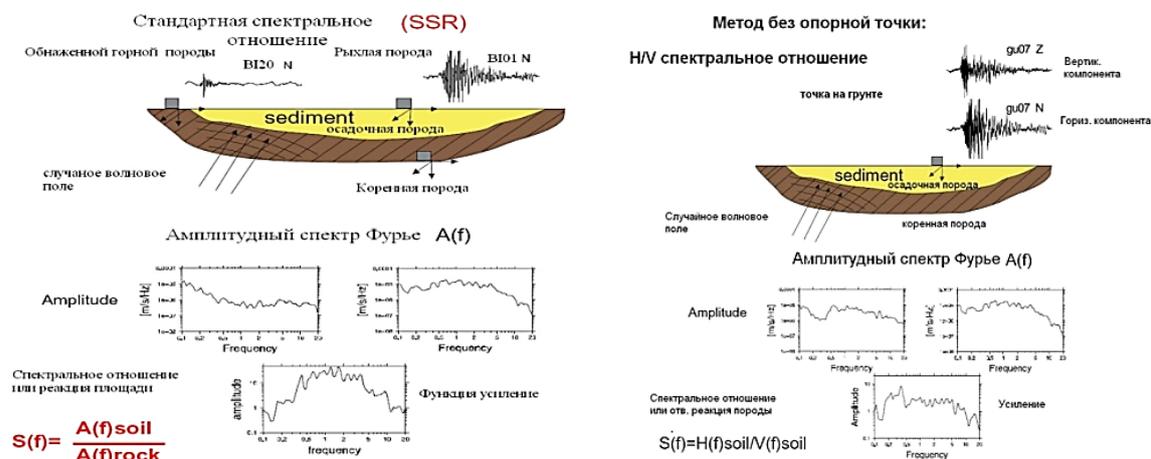


Рис. 1.6.1. Схематическое представление методов обработки записей землетрясений: SSR (слева) и H/V (справа).

В случаях, когда расстояние между двумя станциями хотя бы в пять раз меньше по сравнению с гипоцентральной, и одна из них расположена на скальных грунтах, а другая – на осадочной толще, применяется метод стандартного спектрального отношения (SSR). Схематично эта процедура показана на рисунке слева. Отношение спектра записи, сделанной на осадочной толще, к спектру записи на станции, расположенной на скальном грунте, покажет эффект воздействия осадочной породы.

Если же это условие не выполняется (рисунок справа), то используется метод без опорной точки. Здесь для оценки воздействия зоны влияния вычисляется отношение спектра записи горизонтальной составляющей сейсмографа к спектру вертикальной составляющей.

Конечным результатом проведенных исследований является карта резонансных частот грунтов исследуемой территории.

1.6.1. Город Бишкек

Полевые и камеральные работы выполнялись совместно с сотрудниками GFZ Потсдам, Германия и INGV Международный институт геофизики и вулканологии, Италия. Была использована следующая аппаратура.

- для записей землетрясений было установлено 16 станций Mark 1Hz + EDL и четыре Lennartz LE3D + Reftek,
- для записей шумов были использованы сенсоры Mark L4C-3D, Lennartz LE3D-5s и дигитайзеры EarthData Recorder PR6-24
- GPS антенны.

Площадные съемки были выполнены на четырех участках:

- 1) Участок в районе расположения ЦАИИЗ,
- 2) Участок в северном крыле активного Иссык-Атинского разлома восточнее села Орто-Сай,
- 3) Площадь центрального стадиона им. Д. Омурзакова и
- 4) Экспериментальный полигон института биологии НАН КР (рис.1.6.2).

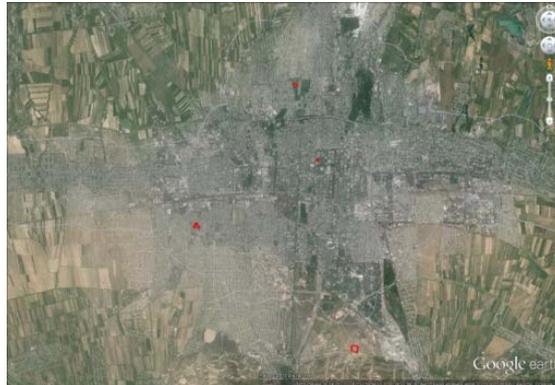


Рис. 1.6.2. Схема расположения участков площадных съемок.



Рис. 1.6.3. Схема пунктов точечного измерения сейсмических шумов



Рис. 1.6.4. Схема размещения сейсмических станций.

В каждом массиве проводились измерения в течение дня, одновременно комплектом из 20 сейсмостанций.

Получасовые точечные измерения сейсмических шумов выполнены в 208 пунктах, расположенных с учетом плана застройки города Бишкек до 2025 г.

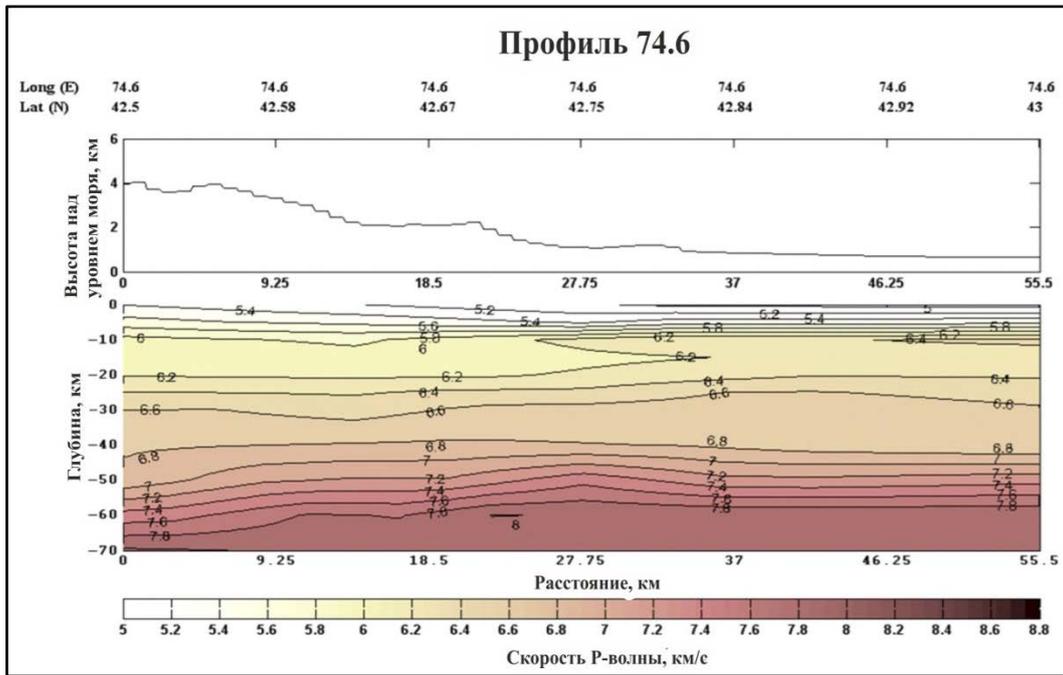


Рис. 1.6.5. Скоростной разрез вдоль меридиана 74.6° E из работы (Сабитова и др., 2006).

Пункты для установки станций выбрали в соответствии с требованием охвата зон с различной балльностью, а также учета глубинной структуры. Расположение станций вдоль меридиональных профилей определилось особенностями скоростного строения земной коры Чуйской впадины по данным 3-D модели (Сабитова и др., 2006), представленной на рис. 5 в виде скоростного разреза. За период времени с 15.08.2008г. по 1.12.2008г. было записано более двухсот сейсмических событий. Из них были отобраны записи 48 наиболее сильных землетрясений, пригодных для спектральной обработки.

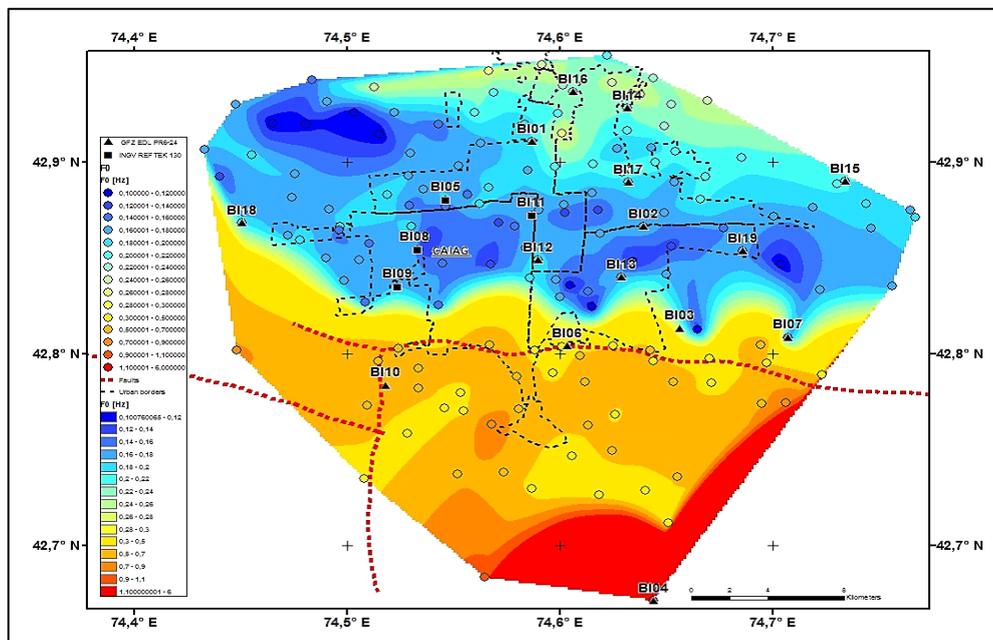


Рис. 1.6.6. Карта частотно-резонансных характеристик грунтов по территории города Бишкек.

В итоге проделанной работы была построена карта резонансных частот грунтов по территории города Бишкек (рис. 1.6.6). Для Кыргызстана эта работа важна тем, что это первое использование современных методик сейсмического районирования, соответствующих мировым стандартам. В 2014-15 гг. планируется введение в стандарты СНиП, Госстроя КР параметры частотных характеристик грунтов.

1.6.2. Город Каракол

Было проведено три вида сейсмометрических наблюдений: площадная съемка, точечное измерение шумов и регистрация землетрясений. Наблюдения проводились с помощью сейсмических станций Mark C34L+ EDL (20 комплектов были предоставлены GFZ и четыре комплекта принадлежат ЦАИИЗу), Geophone 4,5 Hz + SOSEWIN (20 комплектов, предоставленных GFZ), а также одна сейсмическая станция ЦАИИЗ Guralp CMG3D + EDL была установлена на скальных грунтах в ущелье реки Ак Суу.

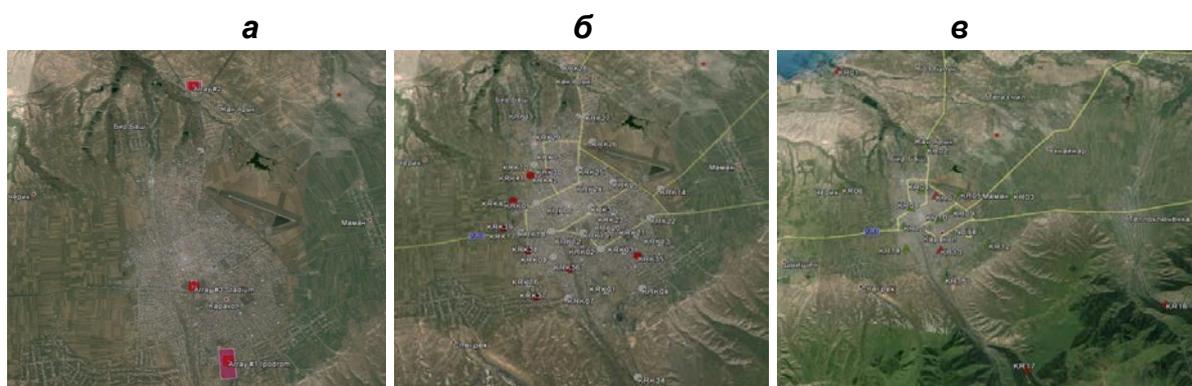


Рис. 1.6.7. Расстановка станций по видам наблюдений: а) площадные съемки; б) точечные записи шумов; в) регистрация землетрясений

Для проведения площадных измерений было выбрано 3 площадки: развилка дороги в сторону пристани в северной части города, Центральный стадион и Ипподром. Площадки выбирались так, чтобы они располагались на участках территории города с разной величиной сейсмической интенсивности, показанной на последней карте сейсмического микрорайонирования города Каракол 1995 года. Материалы, полученные на каждой площадке, обрабатывались. Задача состояла в определении скоростного разреза верхних слоев земной коры под каждой площадкой по записям поперечных волн и поверхностных волн Лява и Рэлея.

30-минутные записи шумов проводились с помощью трех станций в течение двух дней. Для анализа было отобрано 42 записи. Использовалась стандартная методика обработки шумов для определения резонансной частоты верхнего слоя и его мощности.

Запись землетрясений велась 22 сейсмическими станциями, 17 из которых были установлены в пределах города Каракол, а 5 станций – вокруг города. Эта сеть станций проработала 4 месяца – с июля по ноябрь 2011 года. На рисунке 1.6.8 показаны

примеры обработки записей землетрясений для двух пунктов: КРК35 и КРК36. Красным цветом показаны графики отношения спектральных кривых полного горизонтального вектора к вертикальной составляющей (слева), широтной компоненты к вертикальной (посередине) и меридиональной составляющей к вертикальной (справа). Зеленым цветом показаны средние значения и стандартное отклонение этих данных.

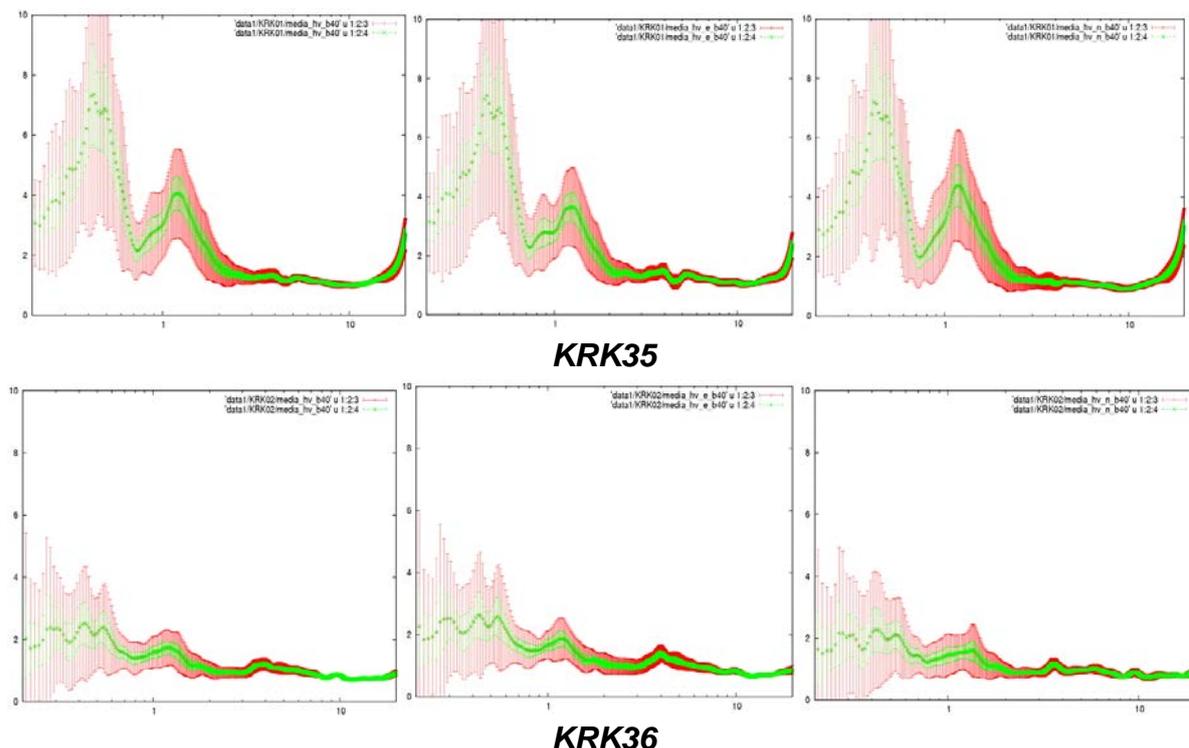


Рис. 1.6.8. Графики отношения спектров по записям землетрясений для сейсмических станций КРК35 КРК36.

Совместно с Матео Пикози материалов площадных съемок, по данным обработки получены следующие результаты:

По результатам площадной сейсмической съемки в районе северной части города Каракол, выявлено два слоя грунтовой толщи, верхний слой мощностью 4 м и скоростью распространения поперечной волны 220 м/с и второй слой мощностью 40 м со скоростью распространения S волны 440 м/с (рис. 1.6.9.).

По территории Центрального стадиона в городе Каракол выявлено три слоя грунтовой толщи: верхний слой мощностью 8 м и скоростью распространения S волны 450 м/с, средний слой мощностью 40 м и скоростью распространения S волны 800 м/с и нижний слой мощностью 150 м скоростью распространения S волны 1500 м/с (рис. 1.6.10.).

В районе городского Ипподрома в городе Каракол было выявлено два слоя грунтовой толщи. Один слой мощностью 7 м и скоростью распространения S волны 300 м/с и другой - мощностью 40 м и скоростью распространения S волны 900 м/с (рис. 1.6.11.).

Array 1 - Север г. Каракол - N 42 32 18.1; E 078 22 34.3; 1680 m
187 юлианский день - время начало 10:00 вр. Окон. 12:00

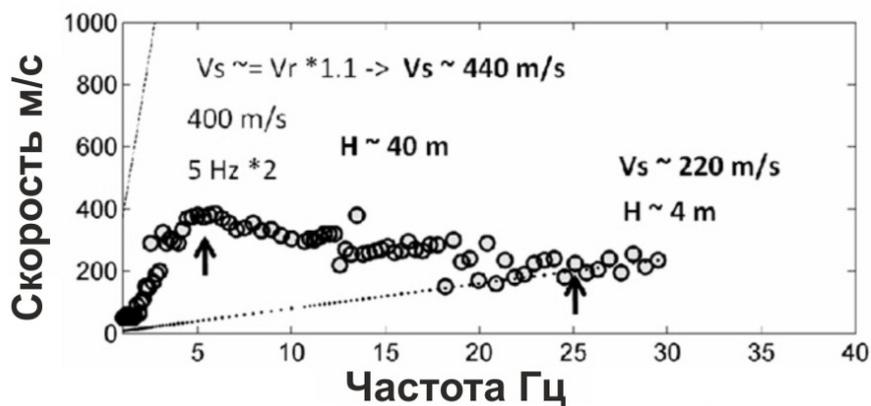


Рис. 1.6.9. Площадка в северной части города Каракол.

Array 2 - Стадион - N 42 29 05.8; E 078 23 18.9; 1777 m
188 юлианский день - время начало 10:00 вр. Окон. 12:00

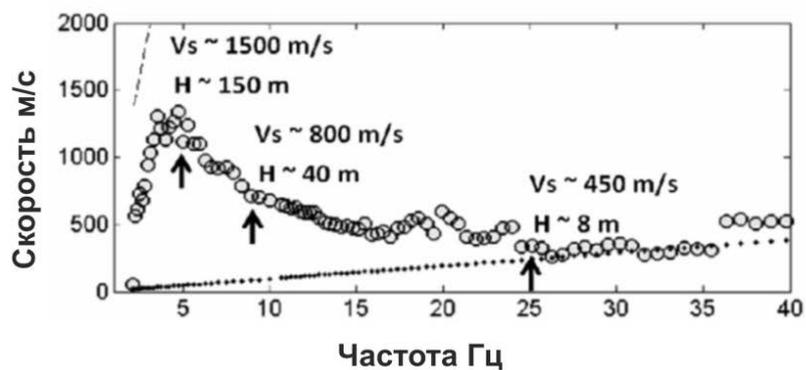


Рис. 1.6.10. Полигон площадной сейсмической станции на Центральном стадионе города Каракол.

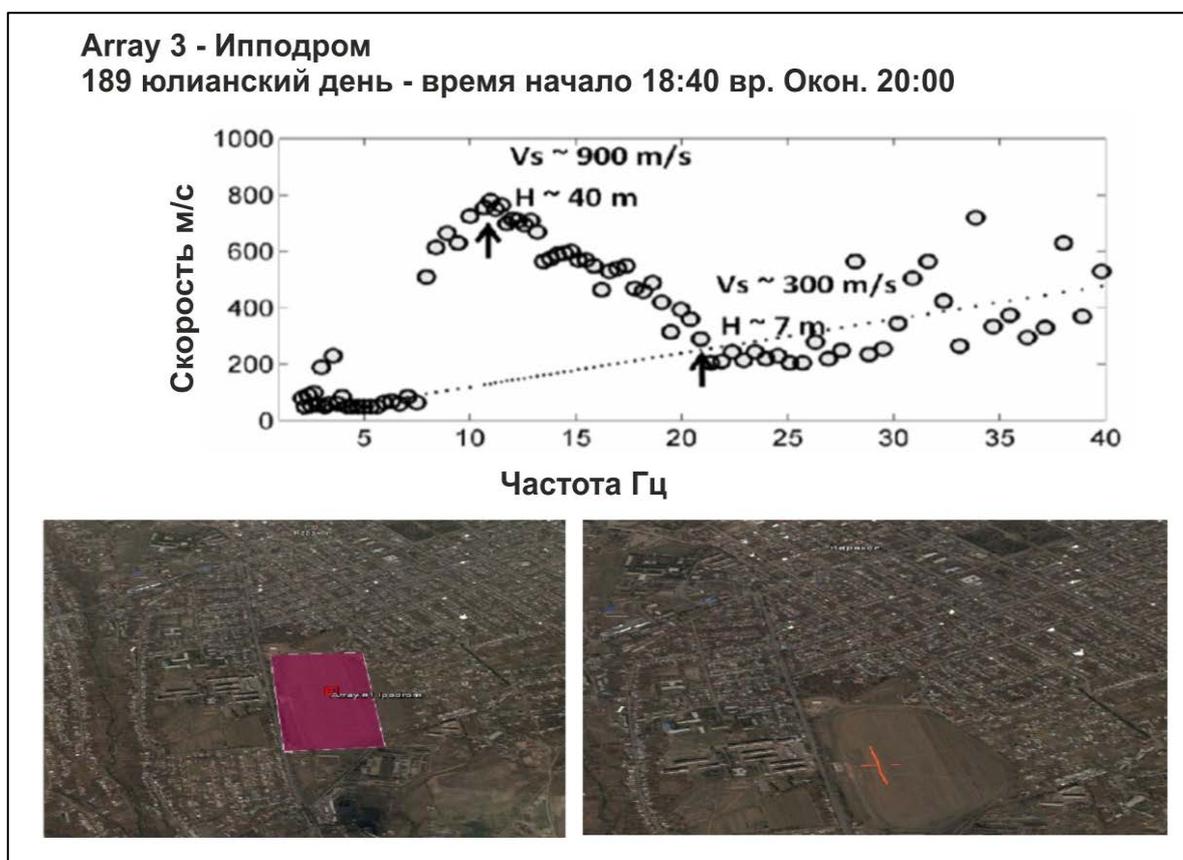


Рис. 1.6.11. Полигон площадной сейсмической станции на полигоне города Каракол

По полученным данным можно сделать предварительные выводы, что грунтовые условия под городом Каракол неоднородны и изменчивы по глубине залегания. Для построения карты микросейсмрайонирования города необходимо проведение более детальных инженерно-геологических изысканий.

ГЛАВА 2. КЛИМАТ И ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

2.1. Исследования климатических изменений

Климатические исследования имеют важное практическое значение и ЦАИИЗ уделяет значительное внимание инструментальному измерению и анализу основных климатических параметров в Центрально-Азиатском регионе.

При этом, основное внимание уделяется современным дистанционным методам исследования атмосферы с использованием автоматических метеостанций и метеорологических данных с различных спутников.

К настоящему времени в ЦАИИЗ выполнен ряд исследований в направлении мониторинга климата, это - сравнительный анализ наблюдений, полученных с помощью традиционного гидрометеорологического оборудования и данных автоматических метеостанций, исследования атмосферной пыли на базе специальной станции, установленной южнее г. Бишкек, определение площадей заснеженности по высотным зонам в различных регионах страны, комплексный анализ климатических изменений в бассейне озера Иссык-Куль.

2.1.1 Сравнительный анализ результатов измерений автоматических метеостанций и измерений традиционными типовыми метеоприборами.

Для оценки сопоставимости результатов измерения метеорологических параметров, полученных традиционными приборами, используемыми на метеостанциях Кыргызской гидрометеорологической службы и автоматических метеостанций были выполнены измерения автоматической метеостанцией и традиционными приборами на метеорологической площадке кафедры МЭО КРСУ в г. Бишкек. (АМС) VaisalaWXT510 [2] Центрально Азиатского института прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ) была установлена по соглашению с Кыргызско-Российским Славянским Университетом, на метеоплощадке Гидрометеорологической обсерватории кафедры Метеорологии, экологии и охраны окружающей среды Естественно-технического факультета.

Цель этой установки заключалась в следующем.

- Получение ЦАИИЗ и КРСУ круглосуточных метеорологических данных с АМС WXT510 на территории г. Бишкек;
- Сравнение метеорологических данных наблюдений WXT510 и данных измерений ГМО КРСУ, проводимых на типовом гидрометеорологическом оборудовании;
- Оценка надежности работы WXT510 в автономном режиме непрерывных измерений и требуемого при этом уровня профилактического обслуживания.

АМС VaisalaWXT510 была установлена на металлической мачте на высоте 3 м над уровнем земли 18.09.08 г. Режим отладки длился до 4.10.08г, с 4 октября 2008 г станция работала в режиме непрерывных измерений с дискретностью в 10 минут.

Метеоплощадка ГМО расположена на территории ЕТФ КРСУ, ее высота – 759,3 м над уровнем моря; высота барометра 760,3 м над уровнем моря, координаты

$\varphi=42^{\circ}51\text{с.ш.}$; $\lambda=74^{\circ} 38 \text{ в.д.}$ На метеоплощадке ГМО с 01.09.2002 г проводятся оперативные трехразовые измерения по типовой программе МС 2 разряда в три срока – 09, 12 и 15 ч местного времени (кроме субботы и воскресенья) [1].

АМС WXT510 измеряет скорость и направление ветра, осадки, атмосферное давление, температуру и относительную влажность. Сравнение данных измерений по WXT510 и по приборам ГМО производилось для атмосферного давления, температуры и относительной влажности. Для сравнения использовались данные в сроки, когда на метеорологической станции проводятся наблюдения, т.е. в 09, 12 и 15 часов местного времени. Всего за период с 18 сентября по 29 декабря для анализа взято 171 наблюдение за давлением, температурой и относительной влажностью.

Сравнительный анализ по данным скорости и направлению ветра не выполнялся, так как датчики WXT510 расположены на высоте 3 м от поверхности площадки, а датчики М-63М-1 – на крыше 4 этажного здания, приблизительно на высоте 15 м. Далее приведены основные результаты сравнения метеорологических данных наблюдений WXT510 и данных измерений ГМО КРСУ.

Температура воздуха.

На рис. 2.1.1.1 показаны графики температуры воздуха по данным датчика WXT510 (синий цвет линии) и срочному термометру (красный цвет линии), установленному в психрометрической будке. Как видно, линии достаточно хорошо совпадают, при этом хорошо прослеживается тенденция, что температуры воздуха по данным срочного термометра на метеоплощадке выше, чем по данным датчика погоды.

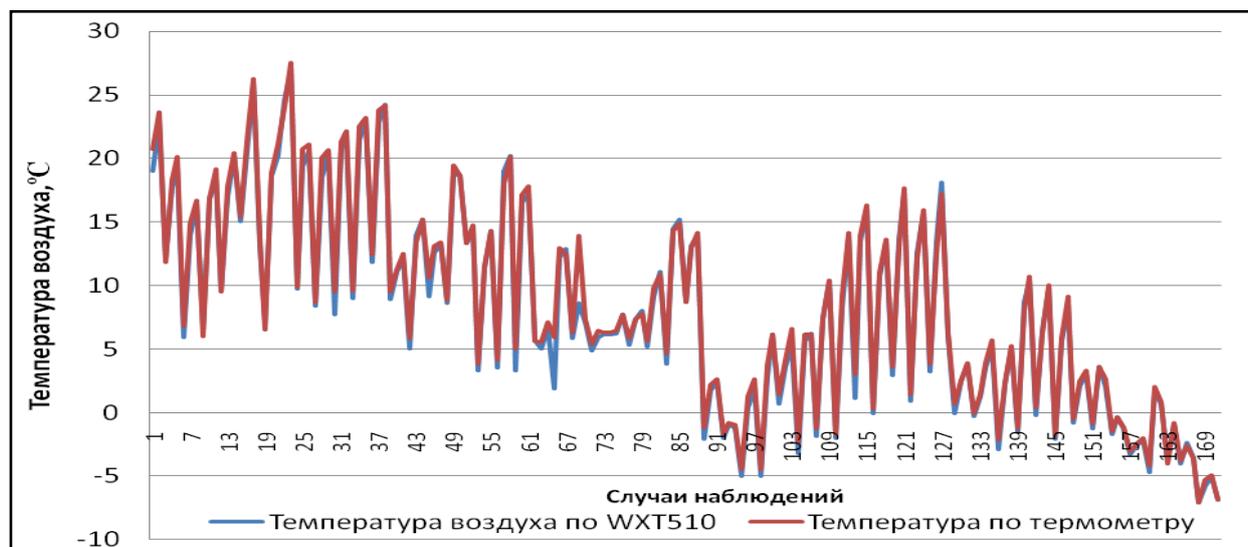


Рис. 2.1.1.1 Графики температуры воздуха по данным датчика WXT510 (синий цвет линии) и срочному термометру (красный цвет линии) метеорологической станции ГМО КРСУ

Отклонения температуры по двум приборам, за исключением 2 случаев, находятся в пределах от -1°C до $+2^{\circ}\text{C}$. По данным всего ряда были рассчитаны среднее значение отклонения и его среднеквадратическое отклонение (СКО), и коэффициент

асимметрии. Кроме того, весь температурный ряд был разбит на градации 5°C, и для каждой градации также рассчитаны те же самые статистические характеристики.

Среднее отклонение температуры воздуха по данным срочного термометра от датчика WXT510 по всему температурному ряду составляет 0,4°C. Так как, точность температурного датчика WXT510 и психрометрического термометра одинакова и составляет ±0,3°C, то можно сказать, что в среднем отклонения малы.

Относительная влажность воздуха.

На рис. 2.1.1.2 показаны графики относительной влажности воздуха по данным датчика WXT510 (синий цвет линии) и психрометру (красный цвет линии) метеорологической станции ГМО КРСУ. Как видно, в отличие от температуры воздуха, линии относительной влажности, измеренной двумя различными приборами, совпадают плохо.



Рис. 2.1.1.2. Графики изменения относительной влажности воздуха по данным датчика WXT510 (синий цвет линии) и психрометру (красный цвет линии) метеорологической станции ГМО КРСУ.

Отклонения относительной влажности по двум приборам находятся в широких пределах от -21% до +42%. При сравнительном анализе отклонений было отмечено, что отклонения в значительной степени зависят от температуры воздуха. Поэтому были рассчитаны средние значения отклонений и их среднеквадратические отклонения (СКО), и коэффициенты асимметрии, как для всего ряда наблюдений, так и по различным градациям температуры воздуха.

Атмосферное давление.

Графики атмосферного давления по данным датчика WXT510 и стационарному чашечному барометру достаточно хорошо совпадают. Отклонения атмосферного

давления по двум приборам, за исключением 3 случаев, находятся в пределах от -2 гПа до +2 гПа.

Среднее отклонение давления воздуха по данным барометра от датчика WXT510 по всему ряду составляет -0,1 гПа, по различным градациям температуры воздуха эти отклонения находятся в интервале -0,5 ... +0,2 гПа. Такие значения не выходят за пределы точности датчика атмосферного давления WXT510. Среднеквадратические отклонения по различным рядам достаточно велики 0,4 ... 1,4 гПа. Эмпирические ряды распределений имеют в основном очень сильную, как левую, так и правую асимметрию.

В результате исследований выяснено, что показания температуры воздуха по двум сравниваемым приборам незначительно отличаются, так как эти отклонения не превышают погрешностей измерения этих приборов.

Величина относительной влажности по датчику WXT510 в среднем имеет различия с величиной влажности, полученной психрометрическим методом почти в пределах погрешности измерения прибора (6%). Относительная влажность воздуха, измеряемая датчиком WXT510, очень сильно зависит от температуры воздуха. В интервале температур воздуха от -7°C до +10°C отклонения влажности по двум приборам минимальны и составляют 1-4%. При более высоких температурах воздуха (выше +10°C) значения влажности воздуха по двум приборам значительно отличаются и в среднем отклонения достигают 14-18%.

Значения атмосферного давления по двум сравниваемым приборам практически одинаковы, а их различия находятся в пределах измеряемой точности датчика давления WXT510.

Литература:

- <http://www.planet.elcat.kg/>
- *Vaisala Weather Transmitter WXT510. // User's Guide. - Helsinki, Vaisala Oyj, 2006. - 152 p.*

2.1.2. Оценка площадей заснеженности по высотным зонам с использованием ГИС технологий и дистанционного зондирования.

Цель данного исследования – рассмотреть новый подход к оценке площадей заснеженности по высотным зонам с использованием цифровой информации прибора AVHRR со спутника NOAA [1] и ГИС технологий.

Водные ресурсы являются особым, стратегическим видом сырья, особенно в интенсивно развивающихся странах, где водопотребление значительно возрастает. Водные ресурсы подлежат строгому учету, правильному планированию и рациональному использованию. Особое значение решение этой проблемы имеет для центрально-азиатского региона, включая и Кыргызстан.

В данной работе показаны возможности применения ГИС технологий и данных дистанционного зондирования для определения площади заснеженности на примере бассейна реки Карадарья Кыргызской Республики. Река Карадарья является левым притоком р. Сырдарьи, протекающей по Ферганской долине. Площадь бассейна выше Андижанского водохранилища около 12300 км², высота - от 0,8 до 5,0 км. Основное питание река получает от таяния сезонных снегов и ледников. Выпадение дождей играет заметную роль только в формировании паводков [2].

Исходными данными для анализа послужили космические снимки пятиканального радиометра AVHRR со спутника гидрометеорологического назначения серии NOAA.

Для дешифрирования спутниковой информации о заснеженности использовалась информация 1, 2 и 4 каналов AVHRR метеорологического спутника NOAA.

В качестве программного инструмента были использованы Программы ERDAS Imagine и ArcGIS. Обработка снимков производилась в программе ERDAS Imagine:

- с помощью цифровой модели рельефа была сделана привязка данных снимка к местности и высотным зонам, и получены изображения исследуемого региона;
- производилась классификация изображения по трем типам: облачность, земля и снег;
- определялась общая площадь заснеженности.

Обработанные спутниковые снимки из программы ERDAS загружались как img-файл в программу ArcGIS, которая может переводить эти файлы в GRID-формат. В ArcGIS производились расчеты высоты положения снеговой границы и площадей заснеженности по высотным зонам (рис. 2.1.2.1).



Рис. 2.1.2.1 Карта заснеженности бассейна р. Карадарья за 11 июля 2009 г.

Таким образом, используемые данные дистанционного зондирования со спутников весьма успешно могут быть обработаны с помощью ГИС технологий, затем проанализированы, а результаты расчетов применены на практике. Например, в целях прогноза стока горных рек, предупреждения лавинной опасности, расчета снеговых нагрузок, в сельском хозяйстве и других случаях.

Литература:

- <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html>
- *Большая советская энциклопедия: В 30 т. - М.: "Советская энциклопедия", 1969-1978.*

2.1.3 Анализ климатических изменений в бассейне озера Иссык-Куль

Важность изучения изменений климата Иссык-Кульской котловины определяется, прежде всего, неповторимой уникальностью этого района и особенно его рекреационным значением [12, 15]. Первые систематические исследования климата Прииссыккуля были начаты еще в конце XIX столетия (с открытием метеостанций Каракол в 1881 г. и Балыкчи в 1894 г.). К 1949 г. в Иссык-Кульской котловине действовало уже 10 метеорологических станций. С 1962 по 1979 гг. сеть метеостанций существенно преобразилась. Закрывались или переносились на новое место одни станции и открывались другие. Общее же их число практически не менялось (9 – 11 станций). Такие преобразования, не всегда, на наш взгляд, рациональные, отразились на длине и однородности рядов наблюдений, что, как будет показано ниже, существенно повлияло на выбор материала для наших исследований. С 1992 по 1999 гг. в Иссык-Кульской котловине было закрыто шесть метеостанций, а к настоящему времени осталось только четыре. Одна из них - Чон-Ашуу – расположена на высоте 2800 м. Эти станции Кыргызгидромета, входящего в структуру МЧС республики, и осуществляют в последние годы гидрометеорологический мониторинг в Иссык-Кульской котловине. Хорошая в прошлом освещенность территории метеонаблюдениями позволила многочисленным авторам провести достаточно полные исследования особенностей климата Прииссыккуля. Результаты опубликованы в научных работах, подробный список которых приведен в книге [15]. Настоящая работа продолжает выполненные ранее исследования и посвящена анализу современных и возможных будущих изменений некоторых показателей климата котловины и их связи с уровнем воды в оз. Иссык-Куль.

Для этой цели были собраны данные о среднемесячной температуре воздуха и месячных суммах осадков. Выбор пал на эти показатели, в первую очередь, потому, что они являются интегральными индикаторами климатических условий в котловине. При выборе метеостанций предпочтение было отдано действующим в настоящее время Чолпон-Ате, работающей с 1928 г., и Балыкчи, где непрерывные наблюдения были возобновлены в 1927 г. Эти станции расположены, соответственно, в центральной и западной зонах Прииссыккуля. При таком подходе восточная часть котловины, на территории которой выпадает наибольшее количество осадков и

наблюдается специфичный режим температуры, остается неосвещенной данными. К сожалению, станция Каракол (Пржевальск), расположенная в этой зоне Прииссыккуля и ведущая наблюдения с 1881 г., в 1997 г. была закрыта. Зная о важнейшем значении вклада восточной зоны в водный баланс озера, мы все же решили воспользоваться ее материалами по осадкам и температуре. Станция Каракол в 1943 г. была перенесена на новое место, и следовательно, непрерывность ряда наблюдений была нарушена. С 1932 по 1953 гг. параллельно со станцией Каракол работала станция Каракол АМСГ. Анализ данных по температуре и осадкам за период совместной работы этих станций показал, что эти данные плохо коррелируются и объединять ряды данных, полученных до 1943 г., с рядами накопленным после этого (1943 – 1997 гг.), по нашему мнению, недостаточно корректно. По этой причине мы решили воспользоваться данными станции Каракол лишь за период однородных наблюдений, т.е. с 1943 г. (рис. 2.1.3.1).



Рис. 2.1.3.1. Бассейн оз. Иссык-Куль и расположение МС "Балыкчы", "Чолпон-Ата" и "Каракол"

Ограничившись двумя показателями климата – осадками и температурой воздуха, мы проследили их изменение в последние десятилетия на трех выбранных станциях. Для этой цели для каждой из станций были рассчитаны: среднегодовая, средняя зимняя (ноябрь-март) и средняя летняя (апрель-октябрь) температуры воздуха, а также годовые суммы осадков. Линейные тренды полученных рядов были рассчитаны методом наименьших квадратов, считая элементы ряда независимыми. На рис. 2.1.3.2 показаны значения среднегодовой, средней летней и средней зимней температуры воздуха для станции Чолпон-Ата сглаженные по скользящим пятилеткам за период 1929-2007 гг. Пятилетнее окно позволяет подавить резкие выбросы на графиках, выявить общие тенденции изменчивости исследуемых показателей и сохранить ряды достаточно длинными [4].

Из рисунка видно, что, в среднем, наблюдается монотонный рост как среднегодовой температуры воздуха, так и ее летних и зимних значений. За 79 лет (1929 –2007 годы) среднегодовая температура увеличивалась в среднем на 0,027 °С в год. Причем рост

зимней температуры ($0,034\text{ }^{\circ}\text{C}$ за год) внес в это увеличение значительно больший вклад, чем рост температуры летней ($0,021\text{ }^{\circ}\text{C}$ за год).

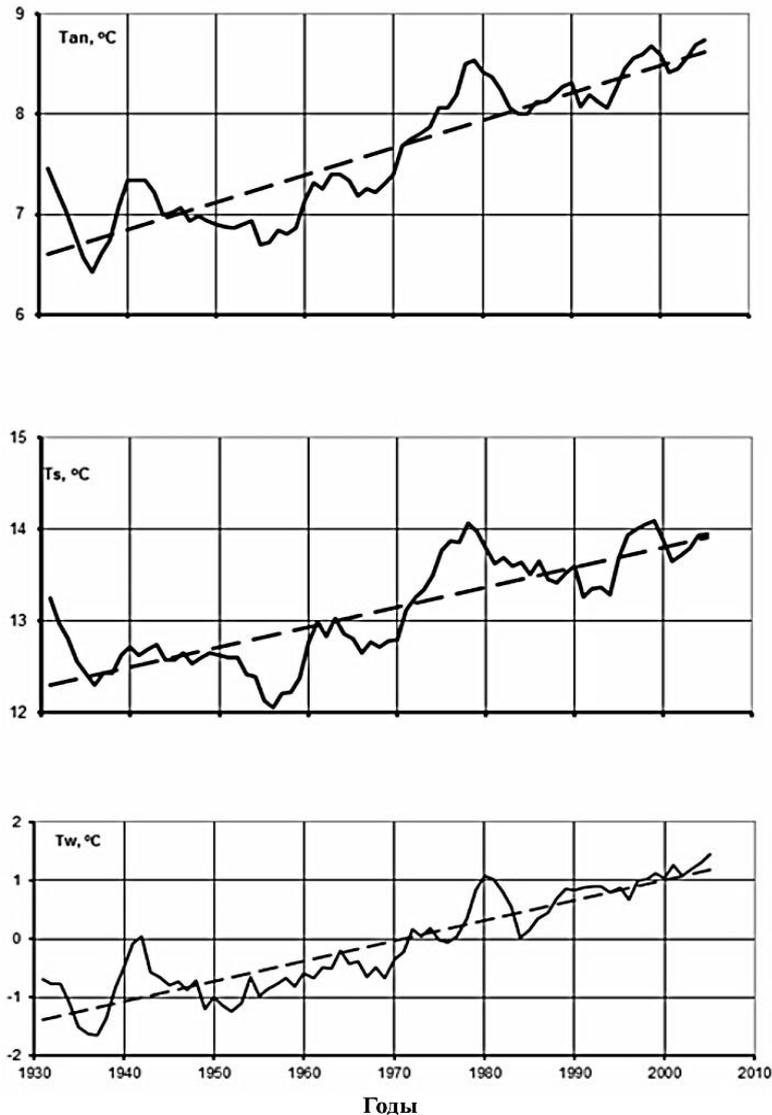


Рис. 2.1.3.2. Многолетний ход среднегодовой ($T_{ан}$), средней летней (IV–X) (T_s) и средней зимней (XI–III) (T_w) температуры воздуха на станции Чолпон-Ата. Исходные ряды сглажены по скользящим пятилеткам. Пунктиром показаны линейные тренды.

Аналогичные расчеты были выполнены и для метеостанций Каракол и Балыкчи (рис. 2.1.3.3).

Оказалось, что за 53 года (1944 – 1996 г.) в г. Каракол среднегодовая температура увеличивалась в среднем на $0,023\text{ }^{\circ}\text{C}$ в год и так же ($0,023\text{ }^{\circ}\text{C}$ в год) она увеличивалась в г. Балыкчи за 79-летний период (1928 – 2006 г.).

Вторым важным климатообразующим элементом являются осадки. На рис. 2.1.3.4 приведен многолетний ход годовых сумм осадков на станции Чолпон-Ата. Видим, что если рассматривать весь период наблюдений, то тренд положителен. Аналогичная картина наблюдается и на двух других станциях. Так как средние многолетние годовые суммы осадков на станциях Балыкчи и Каракол отличаются почти в 3 раза, то помимо трендов, выраженных в мм/год, приводим их значения в процентах в год от

средней многолетней суммы за весь период наблюдений. Оказалось, что линейный тренд изменения осадков на станции Каракол за 1944-1996 годы составляет 1,7 мм/год (0.42 % в год), на станции Чолпон-Ата за 1929-2007 годы – 0,9 мм/год (0.34 % в год), на станции Балыкчи за 1928-2006 годы – 0,5 мм/год (0.42 % в год). Как видим, рост осадков в процентах сопоставим на всех трех станциях.

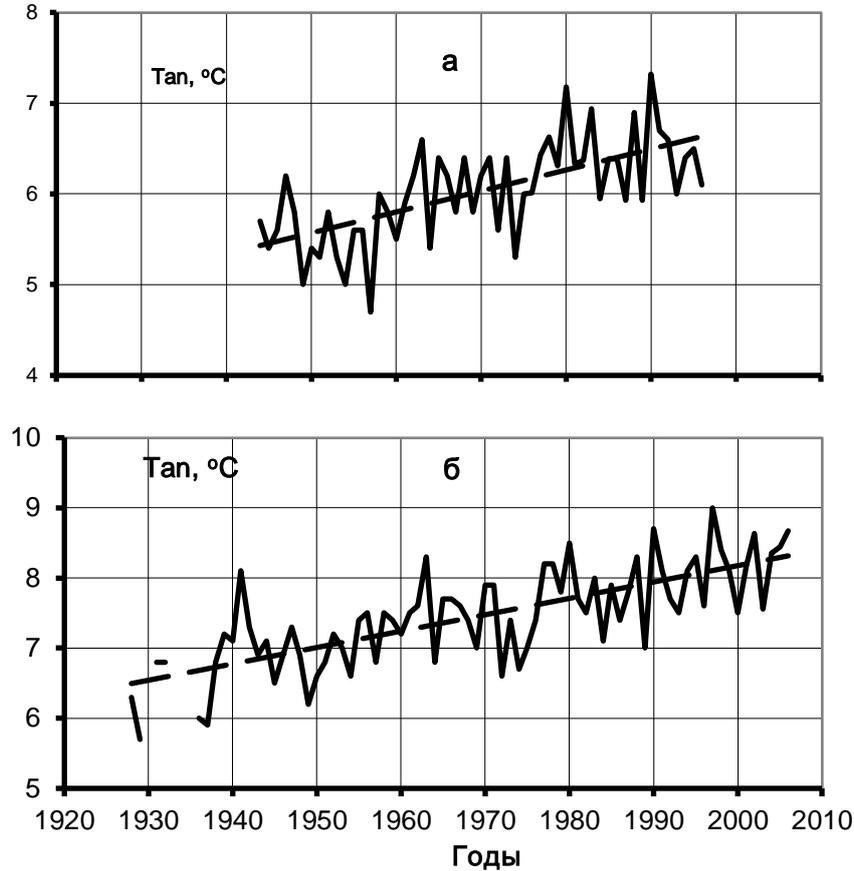


Рис. 2.1.3.3. Многолетний ход средней годовой температуры воздуха на станциях Каракол (а) и Балыкчи (б). Исходные ряды сглажены по скользящим пятилеткам. Пунктиром показаны линейные тренды.

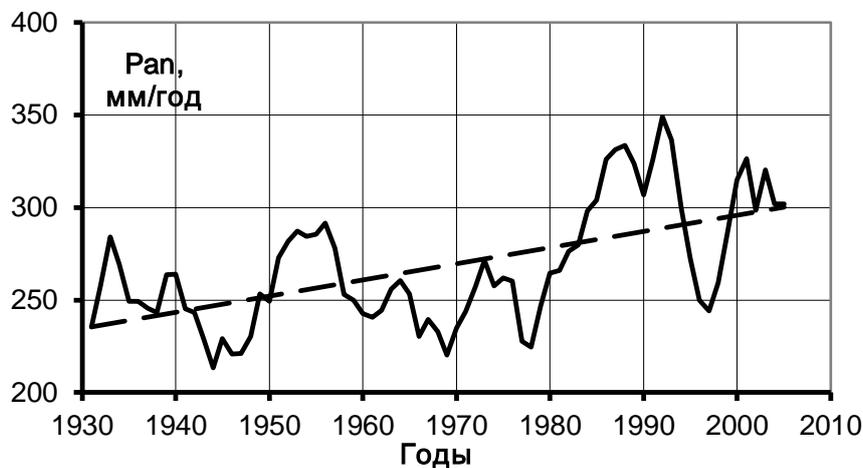


Рис. 2.1.3.4 Многолетний ход годовых сумм осадков на станции Чолпон-Ата. Исходные ряды сглажены по скользящим пятилеткам, пунктиром показан линейный тренд.

Весьма важным является вопрос, можно ли характеризовать многолетние изменения климата в Иссык-Кульской котловине наблюдениями лишь на одной какой-то станции? В какой-то мере об этом можно судить по тесноте связей между наблюдаемыми величинами. С этой целью были рассчитаны попарные коэффициенты корреляции для среднегодовых температур воздуха и годовых сумм осадков между рассматриваемыми тремя станциями (табл. 2.1.3.1). Как видим, имеет место довольно хорошая связь между среднегодовыми значениями температуры на всех трех станциях. В то же время связь между годовыми суммами осадков значительно хуже, в частности, осадки в Караколе и Балыкчи практически не связаны.

Таким образом, можно заключить, что любая из трех станций достаточно хорошо характеризует температурный режим и значительно хуже - увлажненность всей котловины.

Следует отметить, что аналогичные расчеты для этих станций были нами выполнены ранее [3], но в то время ряды наблюдений были значительно короче и ограничивались 1976 г. Поэтому результаты существенно отличались от приведенных в табл. 2.1.3.1.

Таблица 2.1.3.1

Коэффициенты корреляции среднегодовых температур воздуха и годовых сумм осадков (в скобках) между тремя станциями Иссык-Кульской котловины.

Станция	Каракол	Чолпон-Ата	Балыкчи
Каракол	1	0,877 (0,521)	0,880 (0,190)
Чолпон-Ата		1	0,838 (0,414)
Балыкчи			1

Важнейшим вопросом, как практическим, так и теоретическим, является вопрос о колебаниях уровня воды в оз. Иссык-Куль, связи этих колебаний с климатическими и антропогенными факторами, прогноз хода уровня озера в будущем.

Инструментальные наблюдения за уровнем Иссык-Куля были начаты в 1927г. на единственном в то время озерном посту Балыкчи. К 1947 г. на озере действовало уже три поста, что значительно повысило точность определения как среднего по озеру уровня воды за какой-либо период, так и уровня воды на определенную дату. В своих расчетах мы использовали данные по уровню за период 1947–2007 гг. в конец каждого календарного года, как это принято во всех водно-балансовых расчетах, выполняемых Кыргызгидрометом для оз. Иссык-Куль. Чтобы избавиться от случайных ошибок в значениях уровня на конкретную дату 31 декабря, возникающих из-за сгонов-нагонов и сейш, мы, как и в работах [2, 11], принимали за уровень на конец года среднее за 10 суток его значение (с 27 декабря по 5 января). После этого рассчитывались изменения уровня воды за год.

Следующим шагом была попытка найти связь между изменениями уровня воды в озере и выбранными климатическими показателями (температурой воздуха и осадками). Нужно отметить, что подобные попытки предпринимались неоднократно и ранее при оценке составляющих водного баланса озера, например, в работах [6, 9, 16 и др.]. Изменялось лишь число климатических показателей, продолжительность рядов наблюдений за ними, количество привлеченных станций, учет хозяйственной деятельности и т.п. Полученные при этом результаты сильно различались: от выводов о полной зависимости уровня озера от климатических факторов [1, 18] до их второстепенной роли при подавляющем влиянии факторов антропогенных [6, 9].

Мы решили ограничиться лишь годовой суммой осадков и среднегодовой температурой воздуха по следующим причинам. Годовые осадки характеризуют приток воды в Иссык-Куль, который складывается из осадков на зеркало озера, поверхностного и подземного стока в водоем. Влияние температуры сложнее: с одной стороны, при ее росте увеличивается испарение с водной поверхности и уровень воды в озере понижается, а с другой, - за счет более интенсивной абляции увеличивается ледниковый сток, что ведет к повышению уровня воды в озере. Еще одна веская причина, повлиявшая на наш выбор, состоит в том, что во всех сценариях сверхдолгосрочных прогнозов изменения климата оперируют именно годовой суммой осадков и среднегодовой температурой воздуха [5].

Вернемся к вопросу о связи годовых изменений уровня озера со среднегодовой температурой и годовыми осадками. Более корректно было бы рассчитывать связь этих показателей с изменением объема воды в озере, но так как при колебаниях уровня в пределах 2 метров изменение площади Иссык-Куля не превышает 1,4 % [10], можно ограничиться в расчетах лишь изменениями уровня. При поиске такой связи мы вынуждены были использовать только данные метеостанции Чолпон-Ата, так как станция Каракол закрылась 11 лет назад, а Балыкчи плохо характеризует увлажненность котловины и попытка использовать в расчетах совместно данные станций Балыкчи и Чолпон-Ата не привела к улучшению связей. Поиск линейной связи ежегодных изменений уровня воды в озере с температурой и осадками выполнялся методом наименьших квадратов по данным за период 1947 – 2007 гг. Полученная зависимость описывается уравнением (1):

$$dH_i = -20,3 + 0,112 \cdot Pan_i - 1,571 \cdot Tan_i, \quad (1)$$

где dH_i – изменение уровня воды в озере за i -й год (с 31 декабря предыдущего года до 31 декабря текущего), Pan_i – годовая сумма осадков на станции Чолпон-Ата, Tan_i – средняя годовая температура воздуха на той же станции. Коэффициент корреляции истинных и вычисленных изменений уровня оказался равным 0,63.

Обратим внимание на то, что знак коэффициента перед осадками положительный, а перед температурой отрицательный, что вполне логично. Это указывает на направленность действия климатических показателей: чем больше годовая сумма осадков, тем больше прирост уровня, и наоборот, чем выше температура, тем меньше этот прирост.

Полученную связь можно считать достаточно тесной, во-первых, учитывая, что, как показывают корреляционные связи между метеорологическими данными на станциях, любая одна станция не может достаточно полно характеризовать метеорологическую обстановку в котловине. Во-вторых, мы не учитывали в расчетах другие показатели, влияющие на составляющие водного баланса (скорость ветра, солнечная радиация, влажность воздуха и т.д.), а также влияние хозяйственной деятельности.

Аналогичные расчеты можно выполнить, используя в качестве аргументов не сами осадки и температуру воздуха, а их нормированные значения:

$$\frac{P_{an_i} - P_m}{\sigma P_{an}} \quad \text{и} \quad \frac{T_{an} - T_m}{\sigma T_{an}} .$$

Здесь P_m – среднее многолетнее годовое количество осадков, T_m – средняя многолетняя среднегодовая температура воздуха, σP_{an} и σT_{an} – средние квадратические отклонения соответствующих величин. Качество зависимости при этом, естественно, не изменится, но можно оценить относительный вклад колебаний каждого из аргументов в уравнение связи. Относительный вклад осадков оказался в 6 раз больше, чем температуры воздуха. Это можно объяснить разнонаправленным влиянием температуры на водный баланс озера, о чем было сказано выше.

Одним из наиболее актуальных вопросов для Иссык-Куля является вопрос о возможных будущих изменениях уровня воды в озере. Попытки прогнозов предпринимались, начиная с 70-х годов прошлого столетия и ограничивались, как правило, прогнозом хода уровня до 2000 г. [6, 13, 14]. К сожалению, все они оказались неудачными.

Прогноз хода уровня на достаточно длительный период после 2000 г. имеется лишь в двух известных нам публикациях: - это [15] с прогнозом до 2033 г., уровень озера в котором должен быть равным 1605,6 м, и работа [7], в которой рассчитаны уровни на 2028 г. (1606,1 м) и на 2078 г. (1605,3 м). В последней работе приведено уравнение, позволяющее рассчитать уровень на любой год до 2078 г.

Полученное нами уравнение (1) также позволяет рассчитать будущие изменения уровня Иссык-Куля, если известны будущие изменения климата (среднегодовой температуры воздуха и годовых сумм осадков).

В настоящее время существует много сверхдолгосрочных прогнозов изменения климата. Особенно значительное внимание этому вопросу, учитывая его важность (глобальное потепление, рост количества погодно-климатических аномалий и т.п.), уделяется в последние годы. В этих прогнозах ожидаемые изменения климата варьируют в весьма широких пределах. В частности, для Кыргызстана ожидаемый рост температуры к 2100 г., относительно климатической нормы 1961-1990 гг., рекомендованной ВМО, составит 1,8–4,4 °С, а прогнозируемое изменение осадков лежит в пределах от -6% до +54 % [5].

Свои расчеты мы решили ограничить 2050 г. Так как размах прогнозируемых к 2050 г. изменений температуры лежит в широких пределах, мы выполнили расчеты для трех вариантов ее изменения – 0,5; 1,5 и 2,5 °С. Изменение осадков задавалось двумя способами. а) Предполагалось их монотонное увеличение со скоростью, равной найденному тренду за последние десятилетия (0,915 мм/год), так как большинство сценариев дает именно увеличение осадков в будущем [15, 17 и др.]; б) принимали их постоянными и равными средней величине за последние 20 лет (1978-2007 гг.) - 294 мм/год, так как в этот период их количество ни в Чолпон-Ате, ни в Балыкчи не увеличивалось.

И годовые осадки, и температура воздуха испытывают значительные колебания от года к году. Существующие же сценарии изменений климата дают лишь некоторые значения на конец прогнозируемого периода. Иными словами, мы вынуждены были использовать лишь монотонные изменения температуры и осадков от года к году, что довольно далеко от действительности. Таким образом, мы предсказываем лишь общую тенденцию изменения уровня оз. Иссык-Куль для возможных сценариев изменений климата.

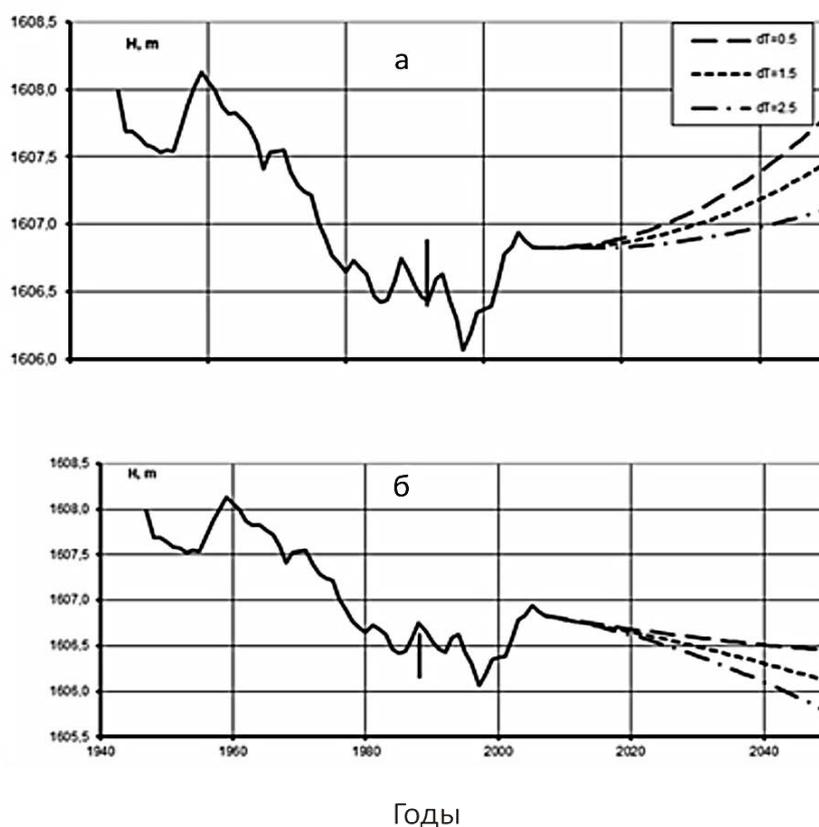


Рис. 2.1.3.5 Реальные (до 2007 г.) и прогнозируемые при различных сверхдолгосрочных сценариях климата изменения уровня оз. Иссык-Куль к 2050 г.: а) при монотонном увеличении годового количества осадков; б) при неизменных осадках.

(Варианты изменения температуры показаны в легенде).

На рис. 2.1.3.5 приведены рассчитанные с помощью уравнения (1) возможные изменения уровня с 2007 г. до 2050 г. при монотонно увеличивающихся и неизменных

осадках для трех вариантов изменения температуры к концу расчетного периода. Как видно из рисунка, в случае монотонного увеличения осадков: при повышении температуры на 0,5 °С, уровень Иссык-Куля к 2050 г. поднимется на 98 см, при повышении температуры на 1,5 °С подъем уровня составит 63 см, а при росте температуры на 2,5 °С уровень озера повысится всего на 29 см. В случае неизменного годового количества осадков, но при том же росте температуры (0,5, 1,5 и 2,5 °С) уровень Иссык-Куля к 2050 г. понизится, соответственно, на: 38, 73 и 107 см.

Мы благодарим проф. Г.Е. Глазырина за советы и полезное обсуждение результатов работы. Таким образом, в результате исследований установлено следующее.

На всех трех метеорологических станциях расположенных в Иссык-Кульской котловине, данные которых мы использовали, наблюдается монотонный рост средней годовой, летней и зимней температуры воздуха.

В целом за последние полвека росло также годовое количество осадков со скоростью около 0.4 % в год. Однако в последние 20 лет, судя по данным станций Чолпон-Ата и Балыкчи, этот рост прекратился.

Ни одна из станций в отдельности не может достаточно хорошо характеризовать климат котловины, особенно относительно атмосферных осадков.

Годовые изменения уровня воды в оз. Иссык-Куль неплохо описываются линейной функцией, аргументами которой являются годовая сумма осадков и средняя годовая температура воздуха. Качество связи можно считать достаточно хорошим, учитывая тот факт, что в расчетах были использованы данные лишь одной метеорологической станции.

Относительный вклад межгодовых изменений годовых осадков в изменения уровня озера в 6 раз больше, чем вклад изменений средней годовой температуры воздуха.

Уточнение сверхдолгосрочных прогнозов изменения климата позволит, соответственно, уточнить и прогноз изменения уровня воды в озере.

Литература:

- *Большаков М.Н. Против антропогенной гипотезы понижения уровня озера Иссык-Куль в XX столетии // Изв. АН Кирг. ССР. – 1982. - № 4, - С. 20-25.*
- *Глазырин Г.Е., Стависский Я.С., Шабунин Г.Д. Новый подход к изучению водного баланса оз. Иссык-Куль. – Тр. САРНИГМИ, 1980, вып. 77(158), с. 57-63.*
- *Глазырин Г.Е., Глазырина Е.Л., Шабунин Г.Д. Статистические характеристики некоторых показателей климата ИССЫК-Кульской котловины. – Тр. САРНИГМИ, 1982, вып. 87 (168), С. 30-40.*
- *Глазырин Г.Е., Группер С.Р. Климат Ташкента и его изменения в XX - начале XXI века. Ташкент, Изд. НИГМИ, 2008. – 52 с.*
- *Глобальные Экологические Конвенции: Возможности Кыргызстана, Тематический обзор, Бишкек, 2004. -155 с.*

- Гронская Т.П. *Водный баланс и ожидаемые уровни воды озера Иссык-Куль: Автореф. дисс..... канд. геогр. Наук.* – Л., 1983. – 16 с.
- Денисов В.М. *О многолетнем снижении уровня воды озера Иссык-Куль.* – Тр. САНИГМИ, 1981, вып. 81 (162), - С. 43-52.
- Диких А.Н. *Оледенение Иссык-Кульской котловины и его стокоформирующая роль. Природа и народ Кыргызстана, специальный выпуск «Биосферная территория Ысык-Кель», Бишкек, 2000, с.32-33.*
- Кривошей М.И., Гронская Т.П. *Водный баланс озера Иссык-Куль // Проблемы исследования крупных озер СССР.* – Л.: Наука, 1986. – С. 276-280.
- Кузьмиченок В.А. *Расчет некоторых детальны морфометрических характеристик озера Иссык-Куль // Изучение гидродинамики озера Иссык-Куль с использованием изотопных методов. Часть 1.* –Бишкек: Илим, 2005. С. 64-80.
- *Озеро Иссык-Куль / под ред. И.В. Молчанова.* – Л.: Гидрометеиздат, 1946. -148 с.
- *Природа и народ Кыргызстана, специальный выпуск «Биосферная территория Ысык-Кель», Бишкек, 2000. -59 с.*
- Раткович Д.Я. *Водный баланс и режим уровня озера Исск-Куль // Водные ресурсы.* -1977. – Т 5. –С. 20-33.
- Романовский В.В. *Ход уровня озера Иссык-Куль до 2000 года и влияние на него хозяйственной деятельности // Прибрежная зона озера Иссык-Куль.* – Фрунзе: Илим, 1979. – С. 34-50.
- Романовский В.В., Кузьмиченок В.А., Маматканов Д.М., Подрезов А.О. *Все об озере Иссык-Куль в вопросах и ответах.* Бишкек, Изд. Кыргызско-Российского славянского университета, 2005. – 406 с.
- Хейфец М.Н. *Причины понижения уровня озера за последние десятилетия.* – В кн. *Озеро Иссык-Куль.* – Фрунзе, Илим, 1978. – С. 117-121.
- Чуб В.Е. *Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан.* – Ташкент, САНИГМИ, 2000. -252 С.
- Шнитников А.В. *Водные ресурсы озера Иссык-Куль // Водные ресурсы.* – 1977. – Т.5. – С. 5-19.

2.1.4 Оценка современного режима температуры поверхности озера Иссык-Куль по данным MODIS/TERRA

Температурный режим водоемов является крайне важной характеристикой определяющей многие особенности его функционирования. Он обуславливает практически все физические и биологические процессы в водоеме: гидродинамику, видовой и качественный состав гидробионтов, трофическое состояние водного объекта, указывает на пути наиболее рационального использования его ресурсов и т.д. Основной целью настоящей работы является получение среднемноголетних среднемесячных и среднегодовых температур поверхности воды озера Иссык-Куль по данным инструмента MODIS спутника TERRA. В работе представлены результаты верификации данных MODIS по натурным наблюдениям, рассчитаны среднемесячные и среднегодовые поверхностные температуры воды озера за многолетний период, а также проведено сравнение полученных данных с данными натурных наблюдений прошлых лет.

Озеро Иссык-Куль - это горное озеро, расположенное примерно на 77° ВД и $42^{\circ}30'$ СШ, в северной части горного пояса Тянь-Шаня в Кыргызской Республики (Центральная Азия). Оно расположено на высоте 1 607 м над уровнем моря и окружено высокими горными цепями: цепь Кунгей Алатау на севере с высотами достигающими 4 770 м, и цепь Терской Алатау на юге с пиками до 5 200 м.

По данным Первого Национального Сообщения Кыргызской Республики, в среднем для всей территории Кыргызстана средняя годовая температура в XX веке в пересчете на 100 лет возросла на $1,6^{\circ}\text{C}$, что значительно выше глобального потепления Земли, равного $0,75^{\circ}\text{C}$ за этот период времени. Причем для Иссык-Кульской котловины повышение среднегодовой температуры воздуха за этот период составило $2,4^{\circ}\text{C}$ [6].

Тенденция к потеплению климата в Иссык-Кульском регионе, наметившееся с 60-х годов XX столетия, отразилась и на температуре воды озера. Повышение поверхностной температуры воды в прибрежной зоне регистрируется озерными гидрологическими постами с 1975 г. [7]. Так по В.В. Романовскому и Г.Д. Шабунину [4] повышение февральской температура поверхности воды на ОГП «Тамга» с 1975 по 2001 г. составило $0,8^{\circ}\text{C}$. А по В.В. Романовскому и А.Г. Шабунину [5] температура глубинных вод озера с 1981 по 2005 гг. повысилась на $0,5^{\circ}\text{C}$.

Наблюдения за термическим режимом озера Иссык-Куль в 60-х - 80-х годах прошлого века проводились Управлением Гидрометеослужбы Киргизской ССР (УГКС) на основе ежемесячных термических съемок на одиннадцати вертикалях приуроченных к центральной части водоема, а позднее еще на шести вертикалях, расположенных в восточной и западной частях озера [8]. Кроме этого, наблюдения за поверхностной температурой воды озера проводилось на озерных постах УГКС расположенных по всему периметру водоема. В настоящее время термическая съемка на акватории озера не проводится (из-за недостатка средств), а из действующих ранее озерных постов осталось только четыре. Эпизодические исследования на акватории озера проводятся в рамках отдельных международных проектов, например проект КР 330.3 "Изучение гидродинамики озера Иссык-Куль с использованием изотопных методов", в результате которого, в 2003-2005 гг., международной группой ученых (при участии авторов данной работы) были произведены замеры температуры воды озера на различных глубинах, на некоторых стандартных вертикалях УГКС.

Все это говорит о необходимости разработки новых подходов и методов исследования температурного режима озера. Данная работа нацелена на оценку возможностей применения спутниковых технологий, в частности инструмента MODIS расположенного на спутнике TERRA, для таких исследований.

Спектрорадиометр MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) является одним из ключевых инструментов на борту американских спутников серии EOS (Terra (EOS AM-1) и Aqua (EOS PM-1)). MODIS имеет 36 спектральных каналов с 12-битным радиометрическим разрешением в видимом, ближнем, среднем и тепловом инфракрасном диапазонах [1].

Одним из широкого спектра продуктов, производимых на основе данных MODIS, является Температура Водной Поверхности (Sea surface temperature (SST)) [3]. Данный продукт распространяется NASA посредством сайта Ocean Color [2] и имеет следующие ключевые характеристики: пространственное разрешение 1 км (что, при площади Иссык-Куля более 6 000 км² дает около 6 000 одновременных измерений на акватории); диапазон измерений от -2 °С до +32 °С (что приемлемо для озера); ошибкой измерений (заявленной производителем) +/- 0,4 °С (что так же является более чем приемлемым для данного рода исследований).

Основными исходными данными при проведении данной работы послужили данные MODIS/TERRA по Температуре Водной Поверхности (Sea surface temperature (SST)), предоставленные NASA и Ocean Color Group, по запросу на исследуемую территорию, за 13-и летний период работы радиометра (с февраля 2000 г. по март 2013 г.). Выборку по типу данных и их геолокации производили Ocean Color Group, после чего обработанные данные были размещены на FTP сервере данной организации.

Для верификации данных SST, нами были использованы данные термических съемок УГКС на акватории озера, данные измерения температур воды на озерных постах предоставленные Агентством по Гидрометеорологии при МЧС КР. А также данные по измерениям поверхностной температуры воды полученные в рамках выполнения проекта КР 330.3.

Данные термических съемок УГКС на акватории озера также были использованы для сравнения среднемноголетних среднегодовых температур натуральных измерений с данными MODIS, отражающими современные характеристики поверхностных температур воды в озере.

Методология

Первый этап работы включал верификацию данных MODIS по данным натуральных измерений поверхностной температуры воды в озере. На этом этапе производилась привязка расположения озерных постов и стандартных вертикалей УГКС на акватории озера в географической системе координат WGS-84 (используемой для данных MODIS) (рис. 2.1.4.1). При этом, на акватории озера, были выбраны 9 вертикалей УГКС, измерения на которых производились так же в рамках проекта КР 330.3 в 2003-2005 гг. (так как измерения на остальных вертикалях проводились в 60-х - 80-х годах прошлого столетия и не могли быть использованы для сопоставления).

Далее, производилась выборка измерений температуры воды в данных точках по натуральным наблюдениям, и сопоставление этих данных, с данными полученными на те же даты по наблюдениям MODIS. И на конечном этапе анализировались среднее и максимальное отклонения.

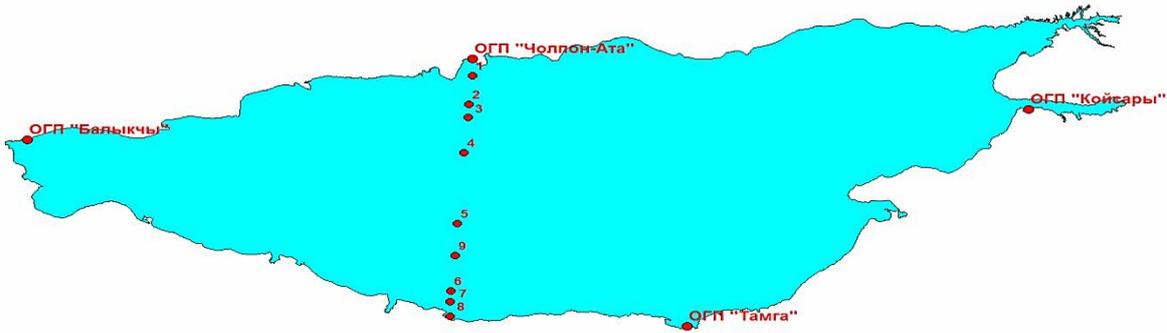


Рис. 2.1.4.1. Расположение озерных постов и стандартных вертикалей УГКС на акватории озера Иссык-Куль используемые для верификации данных MODIS.

Второй этап работ был направлен на получение среднемесячных и среднегодовых поверхностных температур воды по данным MODIS за период 2000-2013 гг., на отдельных вертикалях. При этом были выбраны 5 вертикалей, соответствующие северной, западной, восточной, южной и центральной частям озера, измерения на которых проводились УГКС при термической съемке.

Для получения средних характеристик поверхностных температур озера на выбранных вертикалях, были обработаны все доступные измерения MODIS в ближайших к исследуемым пунктам точках.

Полученные таким образом поверхностные температуры воды были использованы для расчета среднемесячных и среднегодовых температур в различных частях озера, по отработанной ранее методике [8].

Третий этап работ был направлен на получение средних поверхностных температур для всего водоема в целом. При этом были выбраны данные MODIS на середину каждого месяца (15-е или ближайшее к нему число), при условии наименьшей облачности. Для выбора корректных точек измерений, были определены предельные диапазоны изменения поверхностных температур озера для каждого месяца (табл. 2.1.4.1).

Таб. 2.1.4.1. Предельные значения температур для каждого месяца, °С

мес.	I	II	III	IV	V	VI
t, °С	0,0-10,0	0,0-9,0	0,0-12,0	3,0-17,0	4,0-20,0	10,0-23,0
мес.	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t, °С	14,0-25,0	15,0-26,0	13,0-24,0	6,0-21,0	6,0-18,0	0,0-13,0

Введение пределов (ограничений для диапазона температур) позволило исключить из дальнейшей обработки значения, которые попадали не на акваторию озера, а также значения, наблюдаемые на облачной территории (данные значения являются отрицательными или явно искаженными в данных MODIS).

Далее, путем суммирования значений и деления их на число измерений находилось среднее значение температуры на дату съемки. Это значение, с определенной долей допустимости, принималось за среднемесячную температуру поверхности озера в данном месяце. Затем, по этим данным, рассчитывались среднегодовые поверхностные температуры воды озера.

На заключительном этапе работ, был произведен анализ сравнения данных прошлых лет 1963-1978 гг. и 1968-1978 гг., полученных по результатам термической съемки УГКС, с современными данными (2000-2013 гг.) MODIS/TERRA. Для сравнения были использованы среднемноголетние среднегодовые данные, составленные ранее [8] на основе термической съемки УГКС, и те же величины, полученные в результате выполнения данной работы.

На основе полученных по MODIS/TERRA данных, был также проведен анализ изменения температурного режима поверхностной воды озера за 12-ти летний период измерений (2001-2012 гг.).

Результаты верификации данных MODIS по данным по озерным постам КыргызГидроМета, при достаточно больших коэффициентах корреляции, показали значительные расхождения в абсолютных величинах температур, в связи с чем, данная верификация не подтвердилась. По нашему мнению, это вызвано близостью суши, и соответственно, внесением ошибок в отражающих сигнал от сухих поверхностей.

В свою очередь, результаты верификации данных MODIS с данными полученными по проекту КР 330.3, показали хорошую сходимость, как по коэффициенту корреляции, так и по расхождению в абсолютных значениях: коэффициент корреляции составил 0,98; среднее расхождение $-0,35$ °С, максимальное расхождение 3 °С. Хорошим показателем для верификации данных MODIS по этим данным, является еще и то, что рассматриваемые здесь натурные измерения проводились во все сезоны года.

Результаты верификации данных MODIS показывают, что эти данные вполне применимы для продолжения рядов измерений по поверхностным температурам (рис. 2.1.4.2), вывода средних характеристик температурного режима поверхности озера и других практических применений.

Следует отметить, что на точность верификации данных MODIS по инструментальным наблюдениям, отрицательно влияют несколько факторов. К основным из них относятся: абсолютная разница методики измерений, малое количество сравниваемых значений (80 значений поверхностной температуры), время измерений (при суточном ходе температуры до 2 °С, при этом смещение по времени могло достигать 2 суток), место измерений (в нашем случае использовалось

ближайшее к вертикали значение MODIS, при этом горизонтальное смещение могло достигать 0,5 км).

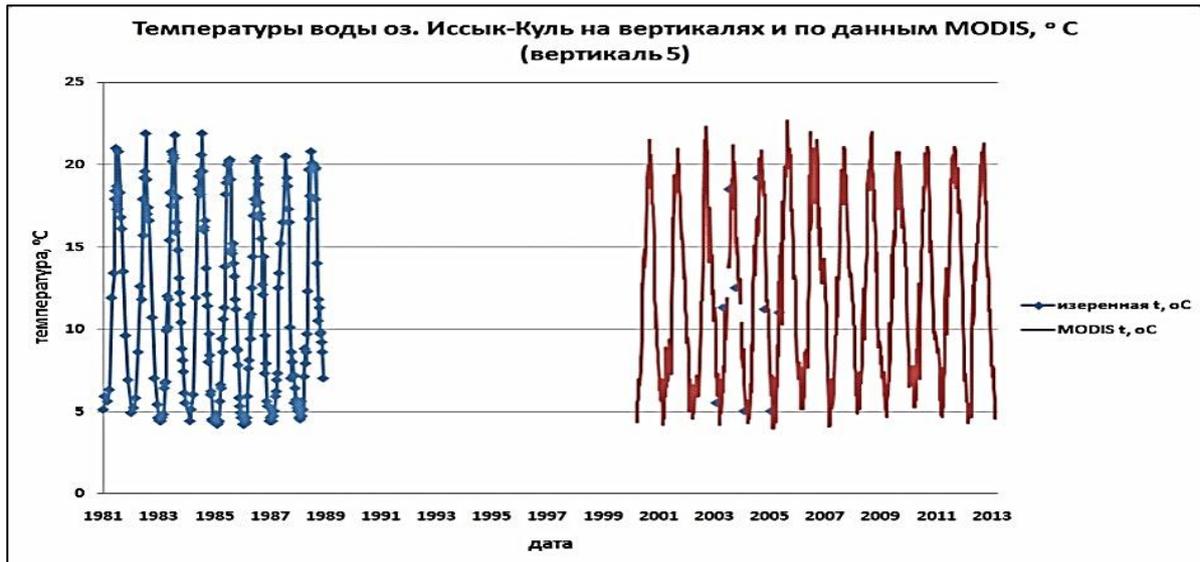


Рис. 2.1.4.2 Пример продолжения рядов натуральных измерений температуры, данными MODIS

Результаты верификации при этом, показали очень хорошую сходимость, что говорит о возможностях применения данного метода для такого рода исследований.

По данным MODIS были получены среднемесячные и среднегодовые значения поверхностных температур озера для 5 выбранных верификационных вертикалей.

Анализ полученных данных показал, что среднегодовые температуры во всех частях озера в среднем составляют 12-13 °C и находятся в пределах (11,5-13,6 °C). Северная часть озера является наиболее теплой, с среднемноголетним среднегодовым значением 13,0 °C, далее следуют восточная и южная части, где это значение 12,7 °C и 12,6 °C, соответственно, затем западная часть, с среднемноголетним среднегодовым значением 12,3 °C, и самой холодной является центральная часть озера - 12,1 °C. Наибольший разброс среднегодовых температур, при этом наблюдается в северной, западной и восточной частях озера, в то время как, в южной и центральной частях он минимальный, что очевидно связано с большими глубинами озера в данных областях. Максимальные среднемесячные температуры для всех частей озера наблюдаются в августе (19,1-22,1 °C), а минимальные в феврале (3,8-7,0 °C).

На рисунке 2.1.4.3 представлен пример построения поля поверхностных температур по озеру Иссык-Куль.

Среднегодовые температуры для всего озера в среднем также составляют 12-13 °C и находятся в пределах (12,2-13,2 °C). Среднемноголетнее годовое значение при этом составляет 12,6 °C, что хорошо согласуется с полученными ранее данными для отдельных частей озера. Максимальные среднемесячные температуры, как и для отдельных частей озера, наблюдаются в августе 20,8 °C, а минимальные в феврале

5,6 °С. Среднемноголетние среднегодовые и среднемесячные значения температуры воды для всего озера наиболее близки к таковым значениям для его южной части.

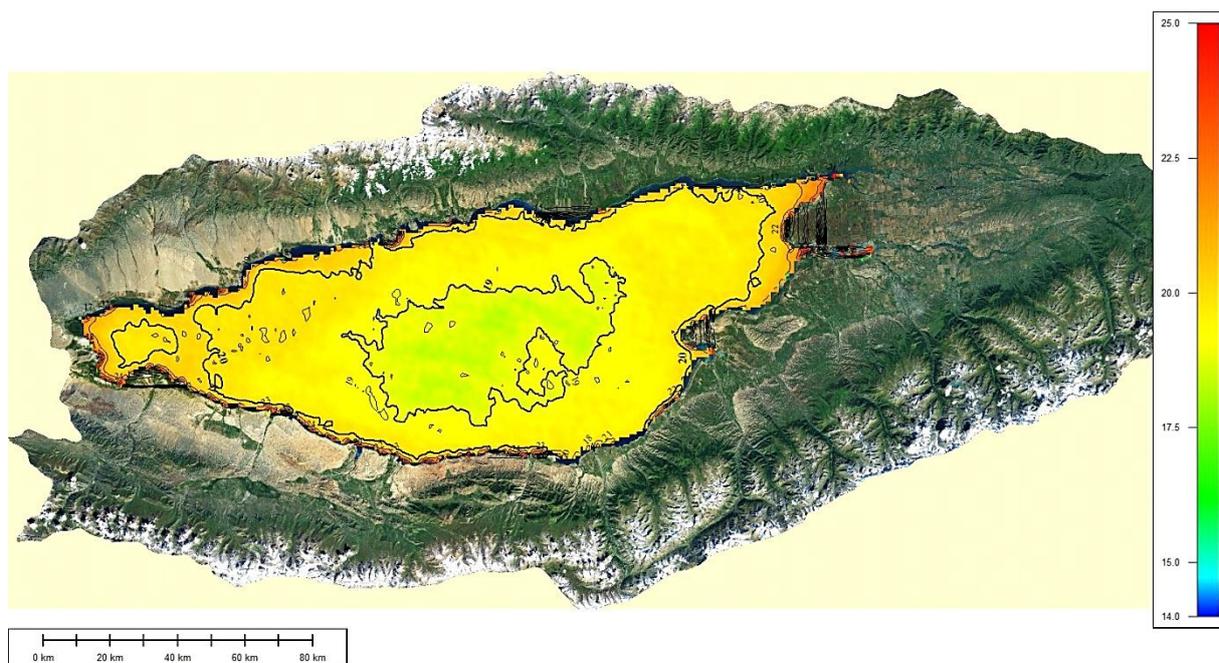


Рис. 2.1.4.3 Пример построения поля поверхностных температур по озеру Иссык-Куль

На заключительном этапе работ, было проведено сравнение среднемноголетних среднемесячных и среднегодовых поверхностных температур воды за периоды 1963-1978 гг., 1968-1978 гг. и 2000-2013 гг.

Полученные в результате сравнения данные, представлены в таблице 2.1.4.2.

Таблица 2.1.4.2. Сравнение среднемноголетних среднегодовых поверхностных температур воды за периоды 1963-1978 гг., 1968-1978 гг. с периодом 2000-2013 гг.

номер вертикали	период			разница
	1963-1978 гг.	1968-1978 гг.	2000-2013 гг.	
вертикаль 1 (север)	11,7		13,0	+ 1,3
вертикаль 6 (юг)	11,5		12,6	+ 1,1
вертикаль 31 (запад)		11,0	12,3	+ 1,3
вертикаль 28 (восток)		11,5	12,7	+ 1,2
вертикаль 26 (5) (центр)	10,8		12,1	+ 1,3
среднее	11,3		12,5	+ 1,2

Из приведенной таблицы видно, что данные MODIS/TERRA показывают повышение поверхностной температуры воды озера Иссык-Куль за 30-35-ти летний период на 1,2 °С. Причем это повышение произошло практически равномерно во всех частях озера.

Здесь следует еще раз упомянуть, что при получении этих данных были применены абсолютно разные методики, что несомненно внесло некоторую долю ошибки в результаты сравнения. Однако, хорошие показатели верификации данных MODIS и их относительная однородность и согласованность с данными натурных измерений (максимальные значения на вертикали 1 и минимальные на вертикали 26 для обоих периодов наблюдений, равномерное повышение температуры для всех частей озера и т.д.), позволяют говорить о большой степени доверия этим данным.

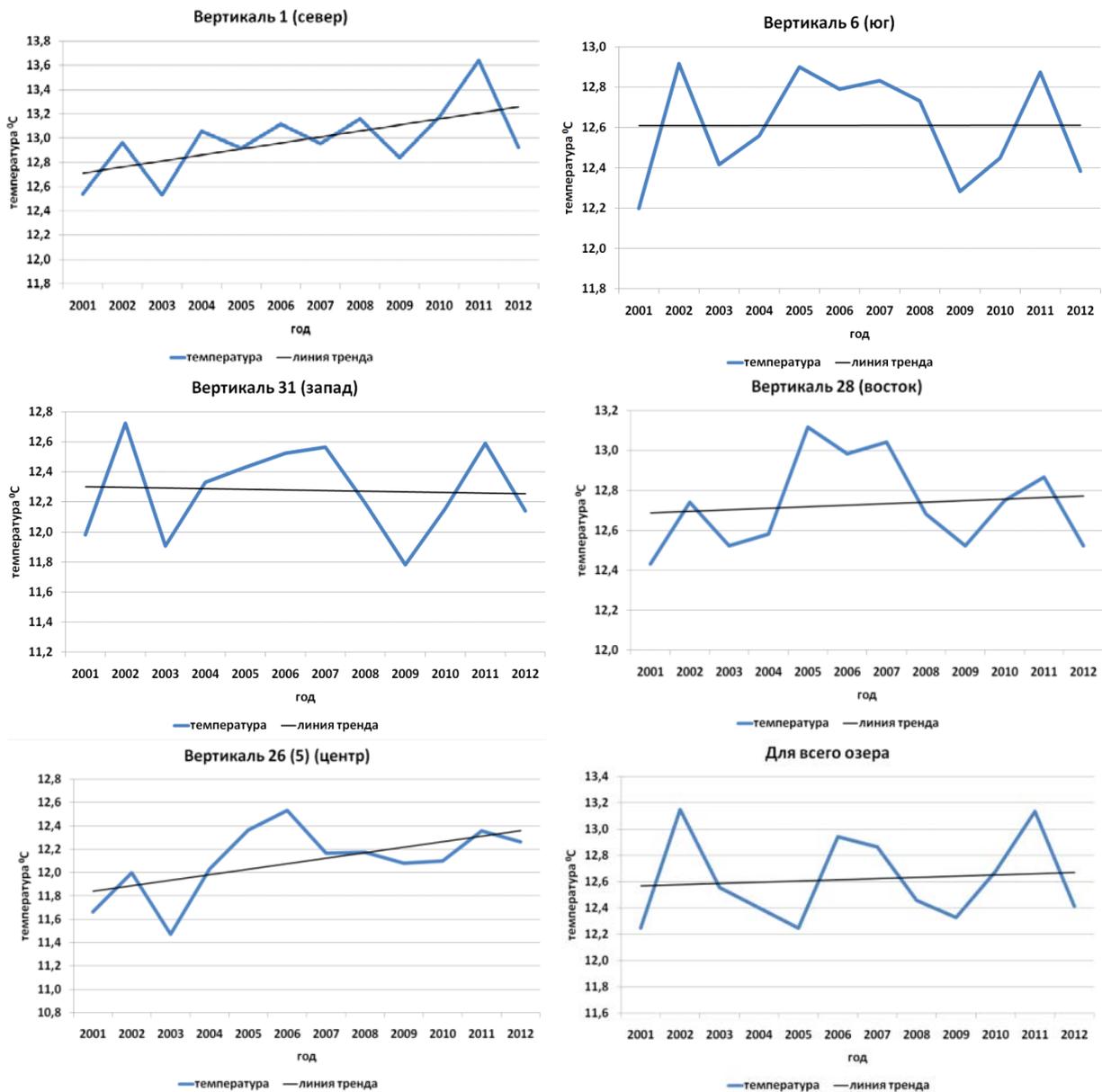


Рис. 2.1.4.4 Тренды среднегодовых температур поверхностной воды озера Иссык-Куль по данным MODIS/TERRA за период 2001-2012 гг.

Для оценки изменения температурного режима поверхностной воды озера Иссык-Куль, и с целью исключения неопределенностей, вызванных методическим подходам в измерениях, был произведен анализ среднегодовых данных MODIS за 12-и летний период измерений (2001-2012 гг.). Результаты данной оценки представлены на рис. 2.1.4.4.

Как видно из рисунка 2.1.4.4, на большинстве вертикалей наблюдаются положительные тренды среднегодовых поверхностных температур озера. Наибольшие из них (около $0,5^{\circ}\text{C}$), представлены на вертикалях 1 и 26 - северная и центральная части озера соответственно. Для восточной части озера (вертикаль 28), как и для всего озера в целом, этот тренд также положителен, хотя и не так ярко выражен (около $0,1^{\circ}\text{C}$). На вертикали 6, которая соответствует южной части озера, тренда практически нет, а для вертикали 31, он даже отрицательный (около $-0,05^{\circ}\text{C}$).

В настоящее время, в связи с недостаточным финансированием полевых исследований в государственных организациях, а так же сокращением наземной наблюдательной сети, все большую значимость получают методы дистанционного зондирования земли (ДДЗ). Данные методы, при всех своих недостатках, имеют ряд преимуществ, таких как большая зона охвата территории, доступность данных и т.д. Эти преимущества наиболее выгодно отражаются на больших, относительно ровных поверхностях, каковыми являются крупные озера.

В данной работе была произведена оценка применимости использования данных ДДЗ, в частности данных MODIS/TERRA, для исследования температурных характеристик поверхности озера Иссык-Куль. А так же показаны варианты практического применения полученных данных для дальнейших исследований. Результаты верификации данных MODIS с данными натурных измерений показали хорошую зависимость, как по коэффициенту корреляции (0,98), так и по среднему и максимальному расхождениям ($-0,35^{\circ}\text{C}$ и 3°C соответственно).

Анализ полученных данных показал, что среднегодовые температуры во всех частях озера в среднем составляют $12-13^{\circ}\text{C}$ и находятся в пределах ($11,5-13,6^{\circ}\text{C}$), максимальные среднемесячные температуры для всех частей озера наблюдаются в августе ($19,1-22,1^{\circ}\text{C}$), а минимальные в феврале ($3,8-7,0^{\circ}\text{C}$). Среднегодовые температуры для всего озера в среднем также составляют $12-13^{\circ}\text{C}$ и находятся в пределах ($12,2-13,2^{\circ}\text{C}$).

Кроме этого, данные MODIS показывают на повышение поверхностной температуры воды озера Иссык-Куль за 30-35 летний период на $1,2^{\circ}\text{C}$.

Также данные MODIS имеют положительные тренды поверхностной температуры воды, за период 2001-2012 гг., как для большей части озера, так и для озера в целом. Величина тренда изменения поверхностной температуры воды для всего озера за данный период имеет значение около $0,1^{\circ}\text{C}$.

Все это говорит о необходимости развития методов дистанционного зондирования параметров земной поверхности, широких возможностях их применений для практического использования, с проведением дополнительных корректировок и верификаций по наземным данным.

Литература:

- <http://modis.gsfc.nasa.gov>
- <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/browse.pl>
- http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/DOCS/modis_sst/, K.A. Kilpatrick et al., *J. Geophys. Res.* 106, 9179-9197 (2001)
- *Lake Issyk-Kul: Its Natural Environment. IV. Earth and Environmental Sciences -Vol. 13, 2002. – 302 с.*
- Romanovsky V.V., Shabunin A.G. «Study of the processes of water circulation in the Issyk-Kul Lake with the use of hydrological and isotopic data» // Coll. «Study of the Issyk-Kul Lake hydrodynamics with the use of isotopic methods» - Part II – Bishkek: Ilim, 2006. – С. 13-20.
- *Первое Национальное Сообщение Кыргызской Республики по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. - Бишкек, 2002. - 97 с.*
- Романовский В.В., Кузьмиченок В.А., Маматканов Д.М., Подрезов А.О. *Все об озере Иссык-Куль в вопросах и ответах. Бишкек, Изд. Кыргызско-Российского славянского университета, 2005. – 406 с.*
- Шабунин Г.Д. *Многолетние характеристики температурного режима озера Иссык-Куль. - Известия Академии Наук Кыргызской ССР, 1982, вып. № 3, с. 39-46.*

2.1.5 Мониторинг атмосферной пыли

Станция мониторинга атмосферной пыли была установлена в предгорьях северного склона Кыргызского хребта, в 40 км южнее г. Бишкек, на высоте 1750 м, выше уровня моря.

Станция установлена немецкими исследователями из GFZ (г. Потсдам), сотрудниками отдела «Климат, вода и геоэкология» Центрально-Азиатского института прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ) и Научной станции Российской Академии Наук, на территории которой и расположен контейнер станции мониторинга пыли [2] (рис. 2.1.5.1).

В рамках совместного проекта указанных организаций в июне 2010 года начата реализация программы контроля пыли и сопутствующие метеорологические измерения.

Метеорологические параметры и концентрация частиц пыли в атмосфере, для 32 градаций размеров частиц, непрерывно измеряются с интервалом времени в 1 минуту. Минеральные аэрозоли, с размером частиц более 2 микрометров, автоматически собираются на фильтры, для последующего минералогического, химического и изотопного исследований [1, 3].



Рис. 2.1.5.1 Станция мониторинга атмосферной пыли

Результаты исследований полученных образцов пыли и сопутствующих метеорологических параметров и величин концентрации пыли в атмосфере необходимы для решения вопросов изменчивости палеоклимата в Центрально-Азиатском регионе, влияния современного переноса пыли в атмосфере на климатические условия, гляциальную и гидрологическую системы.

Результаты первичной обработки и анализ данных показаны на рис. 2.1.5.2 - 2.1.5.6

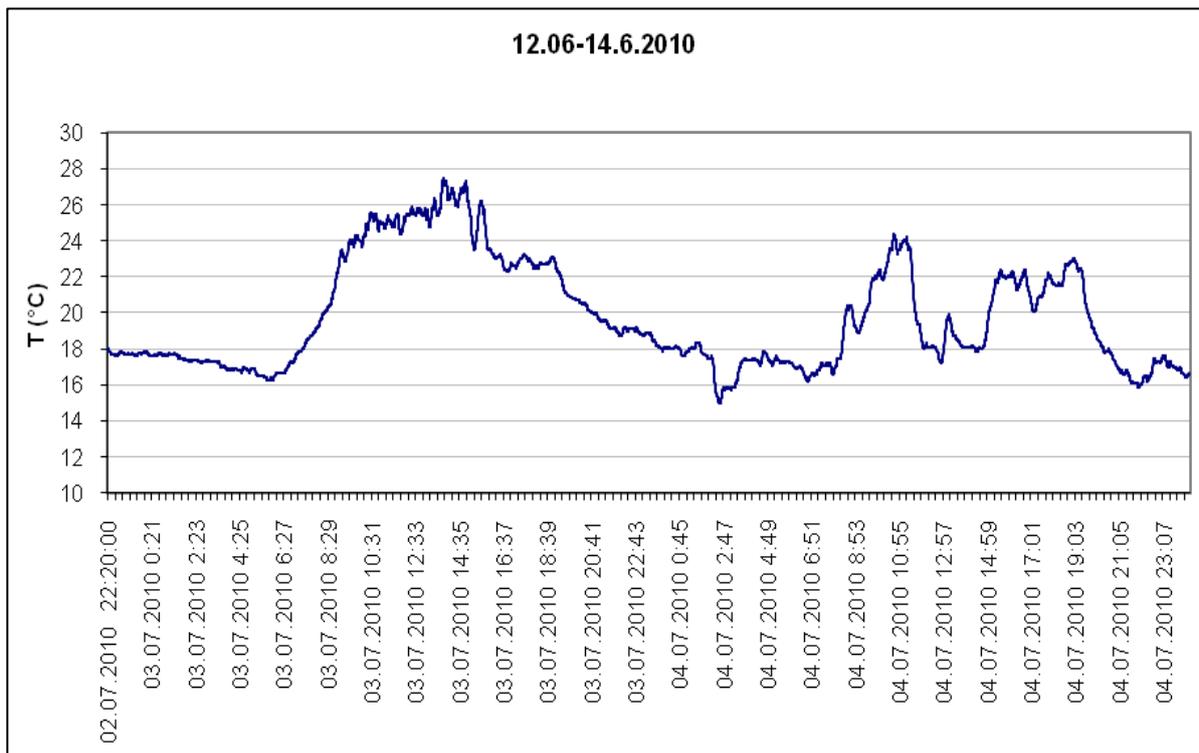


Рис. 2.1.5.2. График изменения температур воздуха

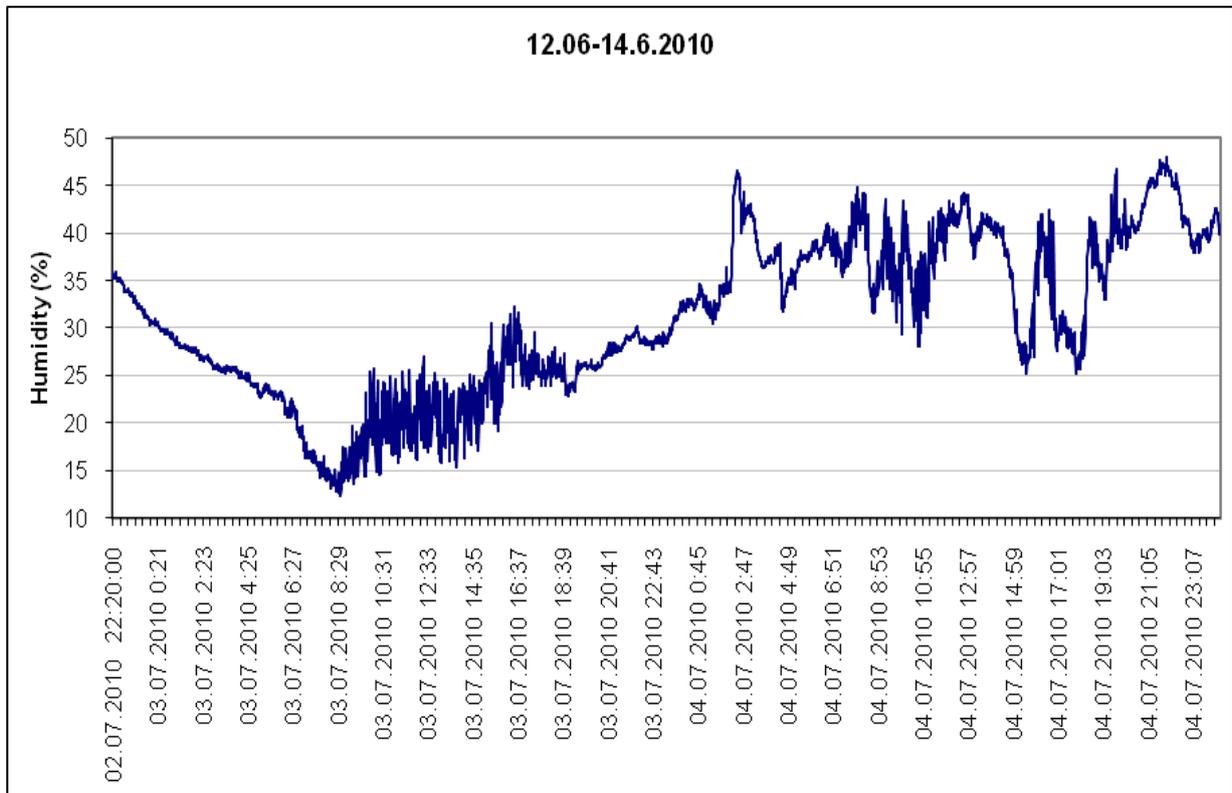


Рис. 2.1.5.3. График изменения влажности воздуха

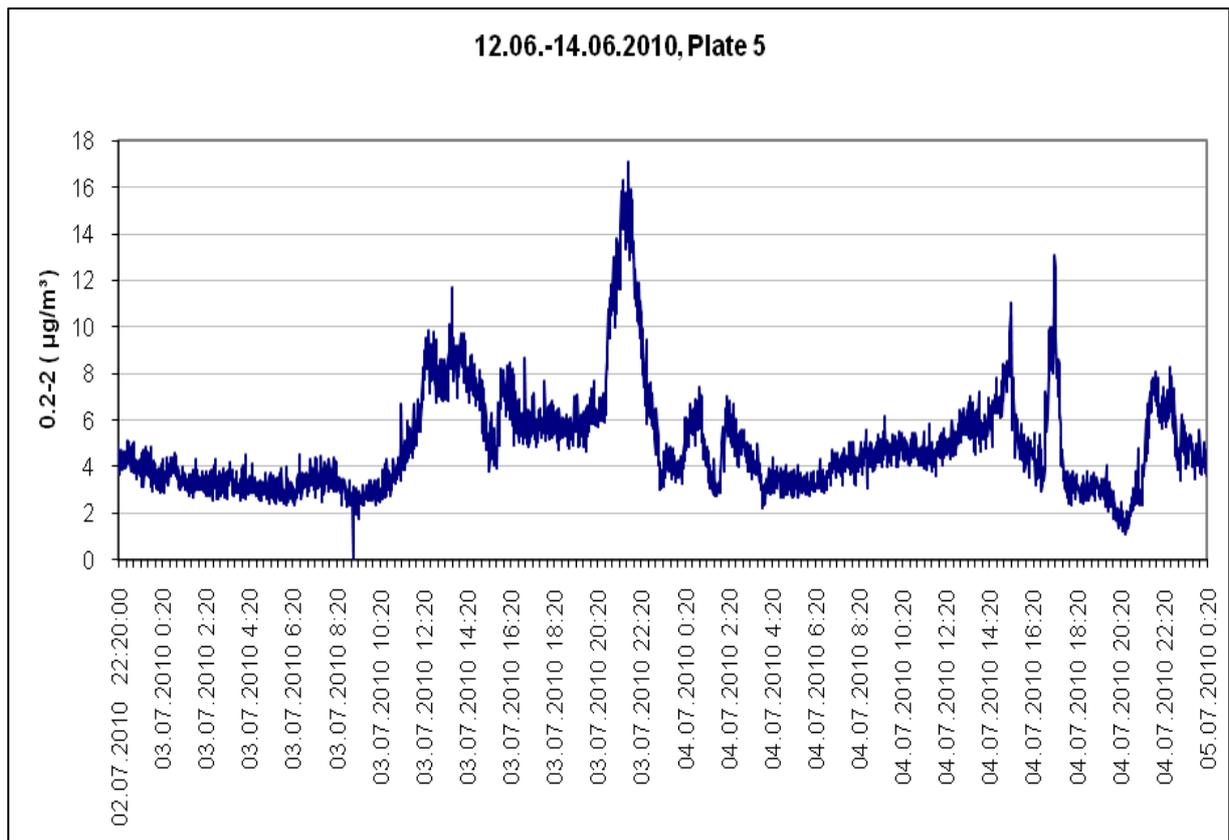


Рис. 2.1.5.4. Содержание в атмосфере частиц размером 0,2-2,0 мкм

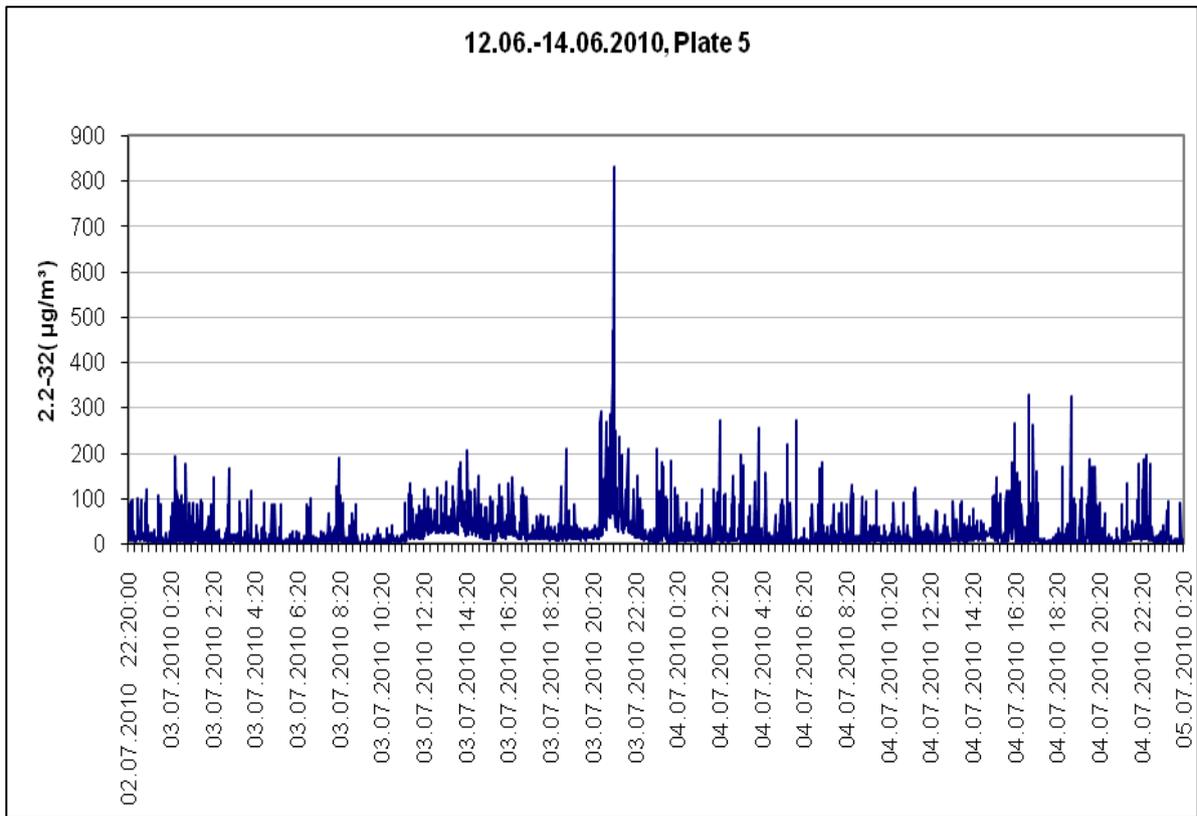


Рис. 2.1.5.5. Содержание в атмосфере частиц размером 2,2-32,0 мкм

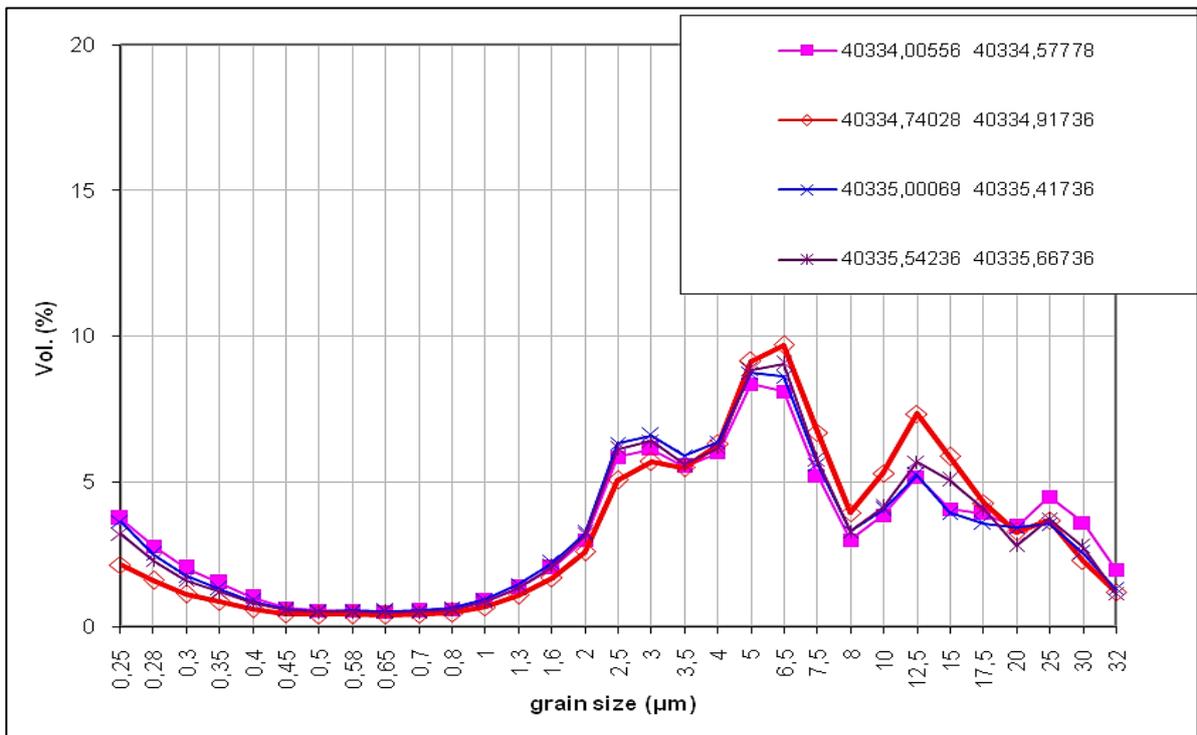


Рис. 2.1.5.6. Классификация частиц по размерам

В настоящее время имеются предварительные результаты исследований, однако работы по данному направлению, несомненно, имеют большой потенциал и вызывают значительный интерес как в плане непосредственного анализа пыли в

атмосфере, так и в плане ее влияния на таяние ледников, загрязненность подстилающей поверхности, влияние на здоровье населения и т.д.

Литература:

- *Aerosol Dust Monitors & Counters.* - GRIMM Aerosol Technik GmbH & Co. KG, 2005. - 44 p.
- <http://www.gdirc.ru/>
- *Kleinfiltergerät LVS 3.1/MVS 6.1 // Ingenieurbüro Norbert Derenda - Germany, 2009.* - 53 p.

2.2. Комплексное изучение динамики горных ледников

Ледники являются одной из составляющих водных ресурсов Кыргызстана, их объем оценивается в 495 км³, а общее количество около 5237. Ледники обеспечивают долговременную аккумуляцию атмосферных осадков в виде льда и последующую их отдачу в речной сток. В последнее столетие наблюдается тенденция сокращения объемов ледников, что ведет к уменьшению общей величины водных ресурсов региона, по этой причине изучение закономерностей развития ледников и прогноз их изменения очень важен для планирования экономического развития.

По гляциологическому направлению в ЦАИИЗ выполняются исследования, в основном, совместно с немецкими партнерами из GFZ (Потсдам) по тематическим проектам: «Изучение ледника Энилчек с целью определения его баланса, морфологических, динамических характеристик, а так же климатических и гидрологических условий», «Мониторинг климатических, гидрологических, лимнологических, гляциологических природных и антропогенных процессов с использованием данных дистанционного зондирования и географических информационных систем для решения экологических проблем в бассейне озера Иссык-Куль», а так же по проекту «Вода в центральной Азии».

Помимо этого, совместно со швейцарскими исследователями выполняются гляциологические исследования в рамках проекта «CATCOS (Capacity Building and Twinning for Climate Observing Systems)».

В рамках этих проектов исследуются ледники: Энилчек, Карабаткак, Петрова, Западный Суек, ледник №354 (массив Ак-Шыйрак), Голубина, Абрамова. На этих ледниках относительно систематически и в разных объемах начиная с 2004 года выполнялись и выполняются полевые измерения топографо-геодезических характеристик ледников с использованием геодезических приборов спутникового геопозиционирования (GPS), измерение величины абляции, зондирование ледника георадаром, электрозондирование, дешифрирование спутниковых оптических и радарных снимков.

2.2.1 Исследования ледника Энилчек

Система ледника Энилчек представлена двумя ледниками: Северным Энилчком, сложно-долинным, протяженностью 32,8 км и Южным Энилчком, дендритовым, имеющим длину 60,5 км, она является одной из крупнейших в Кыргызстане. В этой системе постоянно формируется подпорное непостоянно существующее озеро Мерцбахера [5], которое периодически прорывается через тело ледника Южный Энилчек с образованием паводка, имеющего расход воды в реке Энилчек до 1000 м³/сек. Затем, в течение некоторого времени, озеро может отсутствовать и затем вновь образуется по мере закрытия каналов стока в теле ледника и наполнения ванны озера стоком талых вод ледников Северного и Южного Энилчека. В целом, ледник Энилчек имеет сложное строение, а наличие значительного моренного покрова, большие размеры и труднодоступность обеих ледников затрудняют их изучение [1, 2].

Основной целью проекта по изучению ледника Энилчек является получение ключевых климатических, гидрологических, гляциологических параметров по ледникам Южный и Северный Энилчек, реке Энилчек и озеру Мерцбахера.

В долгосрочной перспективе предполагается уточнение закономерности развития ледника Энилчек в связи с глобальными климатическими изменениями и их воздействием на водный баланс в Центральной Азии.

Наиболее важной текущей задачей является измерение ряда метеорологических, гидрологических, гляциологических параметров, необходимых для понимания, моделирования и прогноза гляциальной, водной, атмосферной подсистем, в аспекте возникновения возможных рисков геокатастроф и изменения водных ресурсов.

Конечной целью является оценка водно-ледового баланса ледника Энилчек на основе анализа полученных данных и построения многофакторных моделей взаимосвязи основных природных факторов, определяющих функционирование и эволюцию системы ледника Энилчек.

В свете этих целей на леднике Энилчек выполнены следующие исследования:

Исследование взаимосвязи между температурой геоповерхности и прорывами озера Мерцбахера

Для этой цели использовались следующие исходные данные:

- Температура поверхности по данным MODIS спутника AQUA, 8 дневные композиции – продукт MOD11A2.005 за период 2000 - 2011;
- Данные наблюдения по метеостанциям Кыргызгидромета для контроля данных MODIS;
- Среднесуточные данные по температуре воздуха и накоплению осадков с автоматической метеорологической станции «Merzbacher 1» за период 2009 - 2010;
- Даты прорывов озера Мерцбахер за период 1902 - 2011 [6].

Температуры поверхности по 8 дневным композициям MODIS на регион исследования были получены с сервиса NASA, с FTP: <ftp://e4ftl01u.ecs.nasa.gov/MOLT/>[10]. Далее, с помощью программного обеспечения MODIS Re-projection Tool (MRT), эти данные были конвертированы в формат GeoTiff в выходной проекции UTM, зона 43, WGS84. Затем с помощью программы «ERDAS Imagine 8.4» были получены значения температур поверхности по 8 дневным композициям для двух областей: нижней – нижнее озеро Мерцбахера и верхней – Верхнее озеро. По этим данным, в программе Microsoft Excel был построен график изменений температуры поверхности, на который также были нанесены даты прорывов озера Мерцбахера (рис. 2.2.1.1). Этот график показывает, что прорывы происходят во время пиков температур, и всегда происходят при температуре поверхности более +10 °С, в основном, когда температура около +15 °С.

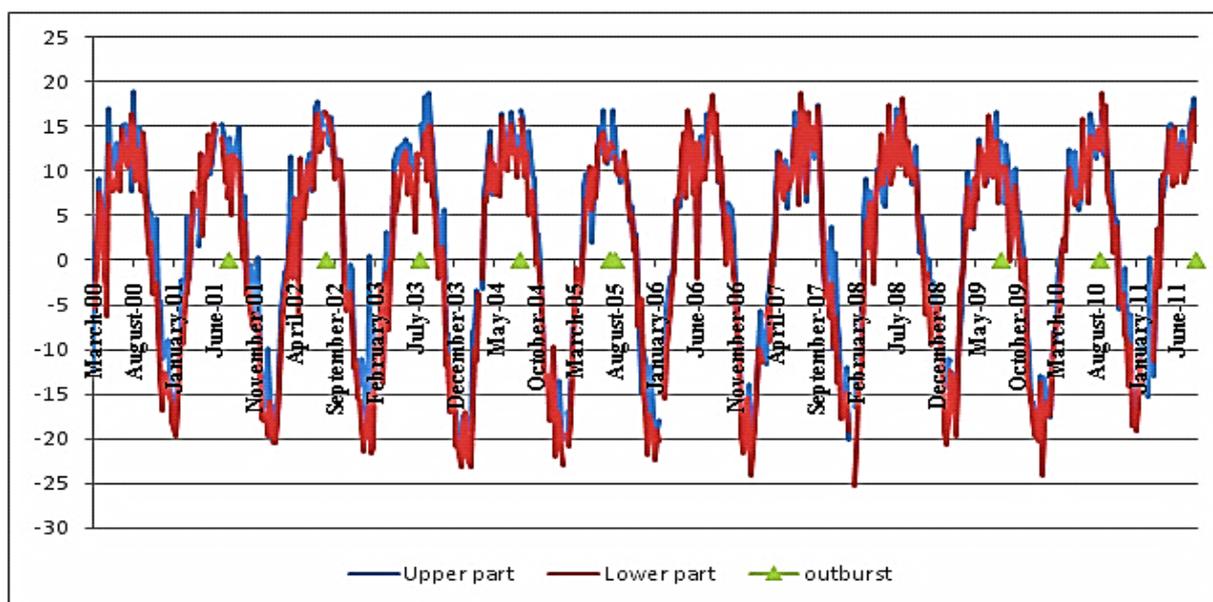


Рис. 2.2.1.1 Температуры геоповерхности по 8 дневным композициям MODIS для верхней и нижней областей бассейна озера Мерцбахера и даты прорывов озера.

Изучение процесса развития озера Мерцбахера

Для изучения изменения озера Мерцбахера в течение длительного времени были использованы топографические карты, аэрофотоснимки и космические снимки спутников Landsat, Terra-Aster, ALOS, выполненные в разное время, начиная с 1943 года и позже до 2007 года. Эти данные были обработаны в ГИС и по ним были рассчитаны площади озера, имевшие место в различное время. Так же, для разного времени, были рассчитаны объемы озера. Для этого с помощью модуля LPS 2011 программного обеспечения «ERDAS IMAGINE 2011» была выполнена генерация DEM. Для этой цели были использованы данные ALOS/PRISM за 2006 г., после прорыва озера. Работа была проведена по инструкции генерации DEM по ALOS PRISM [4]. В результате проведенной работы был получен набор DEM для визуализации и расчетов. По полученным данным были построены батиграфическая кривая (рис. 2.2.1.2), а так же объемная кривая и зависимости объема озера от его площади для верхнего и нижнего озер Мерцбахера [3]

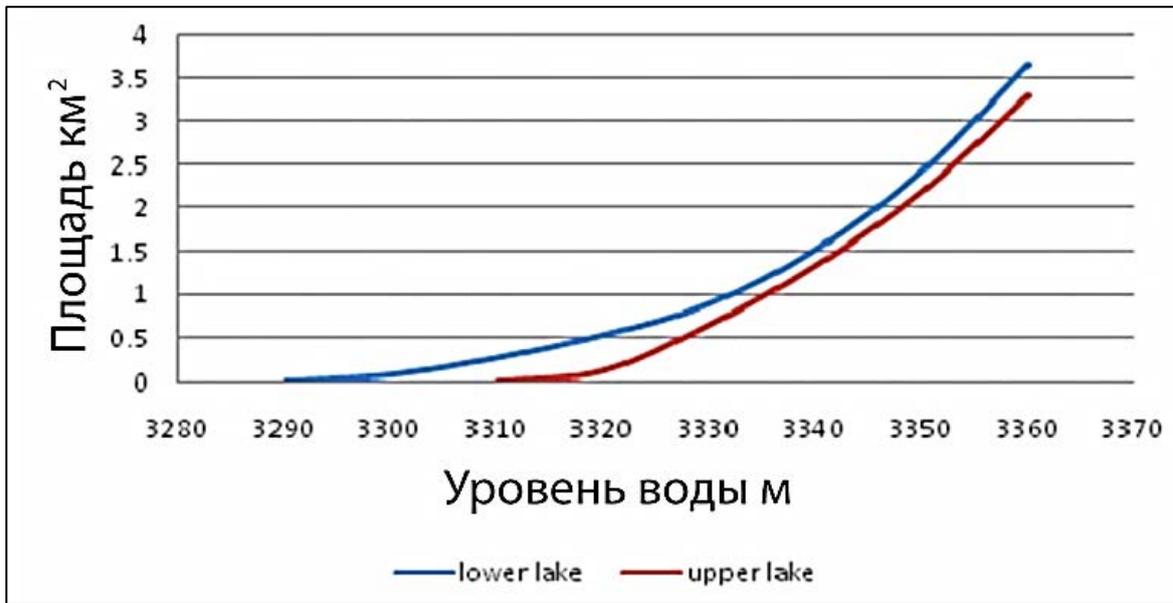


Рис. 2.2.1.2 Батиграфические кривые верхнего и нижнего озер Мерцбахера

Мониторинг и оценка возможности прогноза прорывов озера Мерцбахера

Для решения этой задачи был выполнен анализ аэро- и космических снимков близких по времени к моментам прорывов озера. Наиболее близким по времени к дате прорыва является аэрофотоснимок, полученный 29.07.1990 (за 7 дней до прорыва). На этом снимке площади верхнего и нижнего озер примерно составляют 3 км² каждое, (3,016 км² и 0,054 км³ верхнее и 3,079 км² и 0,061 км³ нижнее). Но, на снимке Landsat TM от 10.09.1990 (36 дней до прорыва) площадь верхнего озера увеличилась (3,777 км² и 0,071 км³ соответственно), а нижнее озеро полностью осушено. Это означает, что произошел прорыв только нижнего озера. В связи с этим, критической площадью для прорыва нижнего озера, по нашему мнению, является площадь около 3 км² и объем 0,06 км³, соответственно.

Определение скорости движения льда Северного и Южного Энилчека.

Изучение движения поверхности льда ледника Энилчек было выполнено по оптическим спутниковым снимкам. Для этого были выбраны изображения хорошего качества на 1975, 1990, 2003 и 2010 годы, для оценки движения языков ледников; и 2006, 2008 и 2010 года для трассировки объектов на ледниках.

Первым шагом была ко-регистрация изображений [8, 11], ошибки ко-регистрации для каждой точки не превышали 2 пикселей. Таким образом, для изображений ALOS/AVNIR2 с разрешением 10 м, ошибка равна 20 м. Для определения направления и скорости движения поверхности ледников Северный и Южный Энилчек методом трассирования объектов были использованы изображения ALOS/AVNIR2 на 23 августа 2006, 28 августа 2008 и 17 августа 2010 гг.

На этих снимках были выбраны одинаковые объекты, хорошо определяемые на поверхности ледника, на всех снимках и для них была рассчитана величина смещения и скорость движения поверхности ледников (рис. 2.2.1.3).



Рис. 2.2.1.3 Скорости движения поверхности ледников Северный и Южный Энилчек

В результате установлено, что для ледника Северный Энилчек на протяжении порядка 9 км в восточном направлении, от озера Верхнее, в пределах имеющих сцен космических снимков, наблюдаются незначительные скорости движения поверхности льда, вблизи нулевых значений и в пределах ошибки измерений. Таким образом, по своей динамике, он близок в этой части к пассивной части ледника Южный Энилчек. По-видимому, здесь расход льда, поступающего из области питания, происходит в основном за счет абляции и испарения. Анализ профиля проведенного по центральной части ледника Северный Энилчек (Рис. 2.2.1.4.) показывает, что язык этого ледника расположен на восточной границе Верхнего озера, а западнее расположен фрагмент аналогичный комплексу конечных моренных валов, протягивающийся в юго-западном направлении до основной ванны озера Мерцбахера. Как по геоморфологическому характеру, так и по данным ранее выполненных различными исследователями радиолокационных и электроразведочных измерений, в этом фрагменте ледника находится достаточно мощный, до 70 метров, погребенный лед, который вытравивает в процессе образования термокарстовых воронок и небольших озер, покрывающих поверхность комплекса конечных морен. Основной язык ледника Северный Энилчек, ограниченный восточным берегом Верхнего озера, по результатам анализа космических снимков, являются относительно стабильным и в течение последних лет не испытывает заметных смещений.

Язык ледника Южный Энилчек весьма стабилен. Отступление языка ледника неравномерное и составляет максимум 1 км за период 1975 - 2010 гг. Наибольшие поверхностные скорости за период 2006 - 2010 наблюдаются в верхней части ледника Южный Энилчек и составляют около 0.30 м/день. В районе поворота северной ветви ледника к области разгрузки в озере Мерцбахера, скорости падают до 0.21 м/день. В пределах западной пассивной части южного ответвления этого ледника скорости очень низкие от 0.09 до 0,0 м/день. Данные полученные в результате выполненной работы хорошо согласуются с предыдущими исследованиями [7, 10].

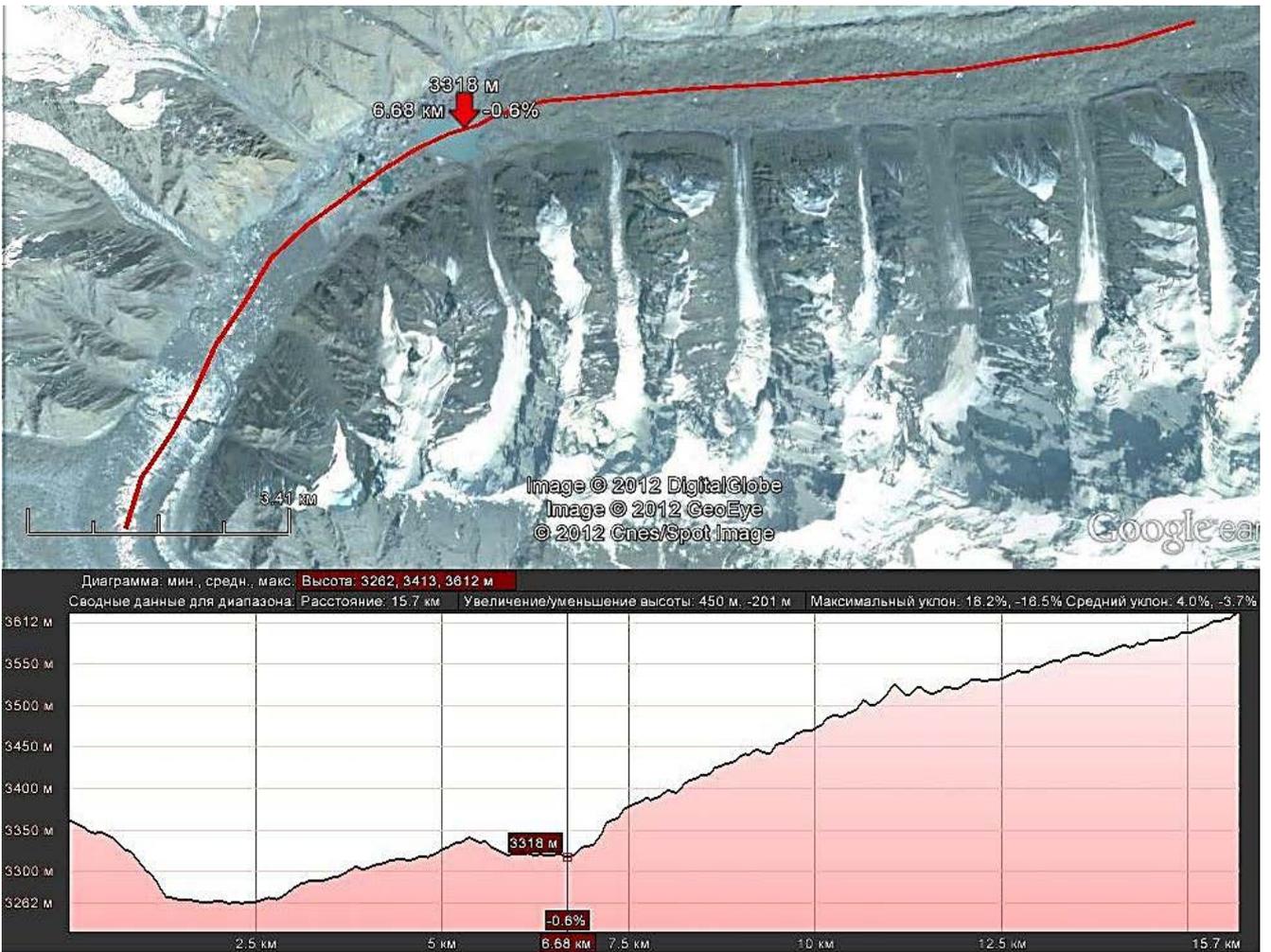


Рис. 2.2.1.4 Профиль вдоль центральной части ледника Северный Энилчек, слева направо, от опорожненной ванны озера Мерцбахера, до Верхнего озера и далее на восток.

В 2013 году на леднике Южный Энилчек были выполнены наблюдения за изменением температуры воды в ледниковых термокарстовых воронках с помощью датчика «ОТТ Orpheus MiniGround Water Level Sensors» (Рис. 2.2.1.5)



Рис. 2.2.1.5 Датчик, измеряющий температуру воды на поверхности ледниковой полости

На рисунке 2.2.1.6 показаны изменения температуры и давления воды по сенсору «ОТТ Orpheus», расположенному на глубине около 0,5 м в воде ледниковой воронки. В данном случае, одно деление вертикальной шкалы соответствует 10 см слоя воды. Наблюдения в течение июля показали, что температура воды изменялась в диапазоне от 2 до 9 °С с преобладанием в диапазоне 3 - 6 °С. Колебания уровня в основном изменялись в пределах нескольких сантиметров и только в конце месяца уровень понизился приблизительно на 0,25 м, с последующим подъемом приблизительно на 0,08 м.

В данном случае, обращает на себя внимание относительно высокая температура воды, заполняющей ледниковую полость, что способствует интенсивному таянию льда и увеличению объема полости в летний период.



Рис. 2.2.1.6 Изменения температуры и давления воды по сенсору «ОТТ Orpheus»

Выполненное сравнение 8 дневных композиций температуры поверхности по данным MODIS с прорывами озера Мерцбахер показали, что прорывы озера всегда происходят при температуре выше +10 °С, и более часто при повышении температуры поверхности до +15 °С.

Оценка качества данных MODIS путем сравнения с данными по метеостанции Каракол, показала хорошую корреляцию.

Для определения взаимосвязи прорывов озера с температурой поверхности необходимо получать данные по температуре воды непосредственно в озере Мерцбахера.

Данные ALOS/PRISM явились хорошим источником для генерации DEM в рамках данной работы.

Полученные батиграфические и объемные кривые, а также кривая зависимости площадь-объем озера могут иметь практическое применение в дальнейших исследованиях.

Критическими пред-прорывными параметрами для нижнего озера Мерцбахера является: площадь около 3 км² и объем около 0,06 км³, соответственно. Критическими параметрами для верхнего озера является: площадь около 3,8 км² и объем около 0,07 км³, соответственно.

При определенных условиях наблюдается очень быстрая регенерация озер.

Наблюдается зависимость аккумуляции воды в озерах от погодных условий и условий состояния каналов стока.

Данные, необходимые для разработки прогноза прорывов озер могут быть точно определены по отражениям на микроволновых изображениях спутниковых снимков.

Скорости движения поверхности ледника Южный Энилчек наибольшая в его восточной части до разделения южной и северной ветвей на меридиане озера Мерцбахера. В западной пассивной части ледника Южный Энилчек скорости движения поверхности аналогичны таковым ледника Северный Энилчек, на исследованном участке, они уменьшаются практически до нулевых в западном направлении к концу языка.

Литература:

- Aizen V.B., Aizen E.M., and Kuzmichonok V.A. "Geo-informational simulation of possible changes in Central Asian water resources" *Global and Planetary Change* 2006.
- Aizen V.B., Aizen E.M., and Kuzmichonok V.A. "Glaciers and Hydrological Changes in Tien Shan: Simulation and Prediction" *Environmental Research Letters*, accepted for publication, May 2007.
- Bikov V.D, Vasiliev A.V. *Hydrometry*. – Leningrad.: Hydrometeoizdat, 1977. – 448 p.
- "DEM generation from ALOS PRISM_ERDAS_LPSI". Lecture material in first phase of the JAXA Mini-Project.
- Dikih A.N., Kuzmichonok V.A. "The Merzbacher Lake" *Herald of the KRSU*, Volume 2, 2003.
- Glazirin G. E. "A century of investigations on outbursts of the icedammed lake Merzbacher (central Tien Shan)" *Austrian Journal of Earth Sciences*, Volume 103/2, Vienna, 2010.
- Hausler H. et al. "Results from the 2009 geoscientific expedition to the Inylchek Glacier, Central Tien Shan (Kyrgyzstan)", *Austrian Journal of Earth Sciences*, Volume 104/2, Vienna, 2011, p. 47-57.
- "Encyclopedia of snow, ice and glaciers", Springer, The Netherlands, 2011.
- <ftp://e4ftl01u.ecs.nasa.gov/MOLT/>

- Mayer, C., Lambrecht, A., Hagg, W., Helm, A. and Scharrer, K., 2008: *Post-drainage ice dam response at Lake Merzbacher, Inylchek glacier, Kyrgyzstan. Geogr. Ann., 90 A (1): 87–96.*
- Pellikka P., Rees W.G. “Remote sensing of glaciers”, Taylor and Francis Group, 2010.

2.2.2 Геофизические исследования перемычки подпрудно-ледникового озера Мерцбахера

В 2012 году геофизическая группа Научно-инженерного центра «ГЕОРПИБОР» Института геомеханики и освоения недр Национальной Академии наук по заданию Центрально-Азиатского института прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ) выполнила геолетрические исследования дна подпрудно-ледникового озера Мерцбахера, на участке перемычки между основным (нижним) и верхним озёрами ледника Северный Энилчек.



Рис. 2.2.2.1 Общий вид озера Мерцбахера: а) космоснимок района исследований – жёлтая стрелка указывает затекающий на север поток ледника Южный Энилчек; б) вид со стороны ледника Северный Энилчек; овалом выделен исследуемый участок перемычки между Верхним и основным озёрами.

Оз. Мерцбахера – один из классических примеров ледниково-подпрудных озёр и одновременно это уникальный водно-ледниковый комплекс. Озеро расположено на высоте 3200 м, в районе долинных ледников Северный и Южный Энилчек (рис.

2.2.2.1). Ледник Северный Энилчек отстоит от края Южного Энилчека на 4 км. Это пространство между концом Северного Энилчека и краем Южного Энилчека служит резервуаром для сбор талых вод, которые и образуют оз. Мерцбахера площадью около 4,5 км².

Цель геоэлектрических исследований состояла в изучении криогенного строения донной части оз. Мерцбахера методом Вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), в частности, в определении мощности и элементов залегания талых и мёрзлых флювио-гляциальных и моренных отложений, которые, по имеющимся в научных публикациях представлениям, покрывают остатки мёртвого льда ледника Северный Энилчек [1].

Измерения проводились аппаратурой типа GeoTom-MK1E100 RES/IP/SP (рис. 2.2.2.2) производства компании GEOLOG2000 (Аугсбург, Германия) с установкой 100 электродов, подключенных к 400 метровому многожильному кабелю и с использованием 50% перекрытия при перемещении электродов и кабелей вдоль длинного профиля.



Рис. 2.2.2.2 Аппаратура вертикального электрического зондирования GeoTom-MK1E100 и дифференциальная DGPS ProMark-3 (ровер-станция). На правом фото – электрод и многожильные кабели крупным планом.

Общий вид района и участка геоэлектрических исследований демонстрируется на рис. 2.2.2.3. На участке «Перемычка» было пройдено два пересекающихся профиля вертикального электрического зондирования I-I и II-II, взаимная ориентировка которых показана на рис. 2.2.2.3-2.2.2.4.

На рис. 2.2.2.5 представлены геоэлектрические разрезы (готограммы) вдоль взаимнопересекающихся профилей I-I и II-II, пройденных на участке «Перемычки» оз. Мерцбахера. Как видно на этих томограммах, удельное электрическое сопротивление зондируемой криолитосреды изменяется в достаточно широком диапазоне от нескольких десятков Ом·м для оттаявших приповерхностных отложений до нескольких сотен тысяч Ом·м для глетчерного льда на глубинах ниже 25-40 м от дневной поверхности.

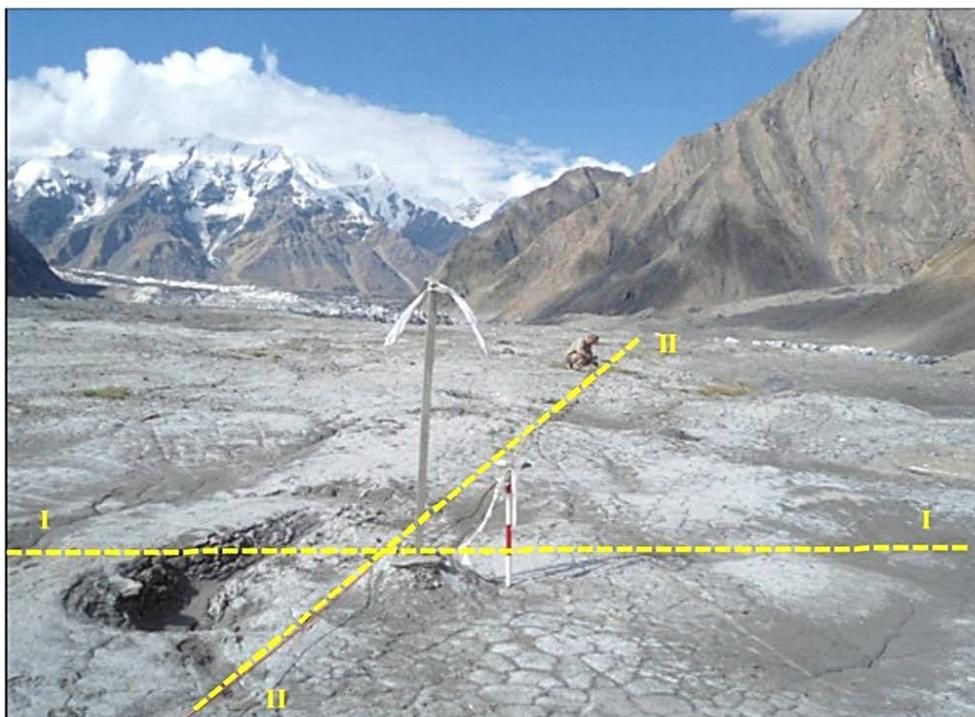
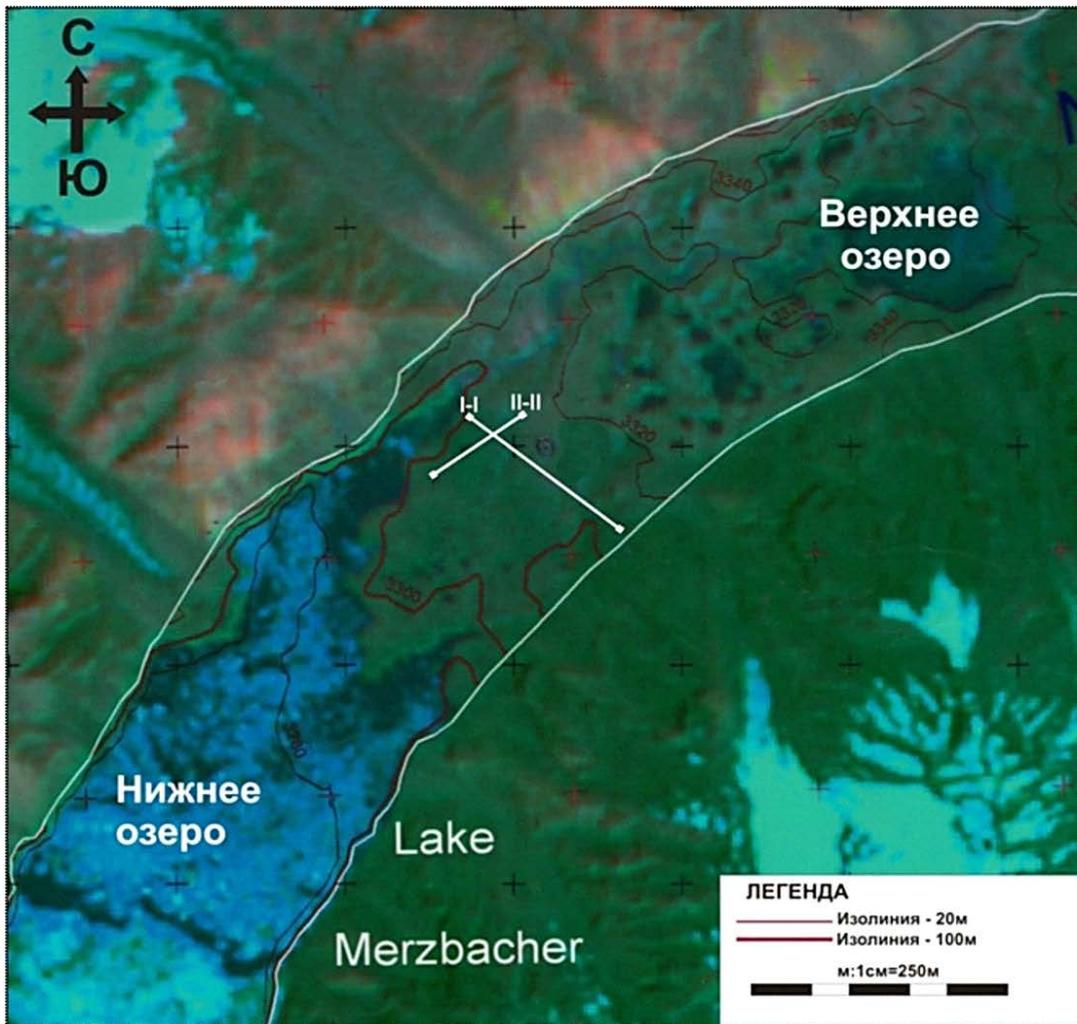


Рис. 2.2.2.3. Схема и фотография расположения профилей ВЭЗ на участке Перемычки

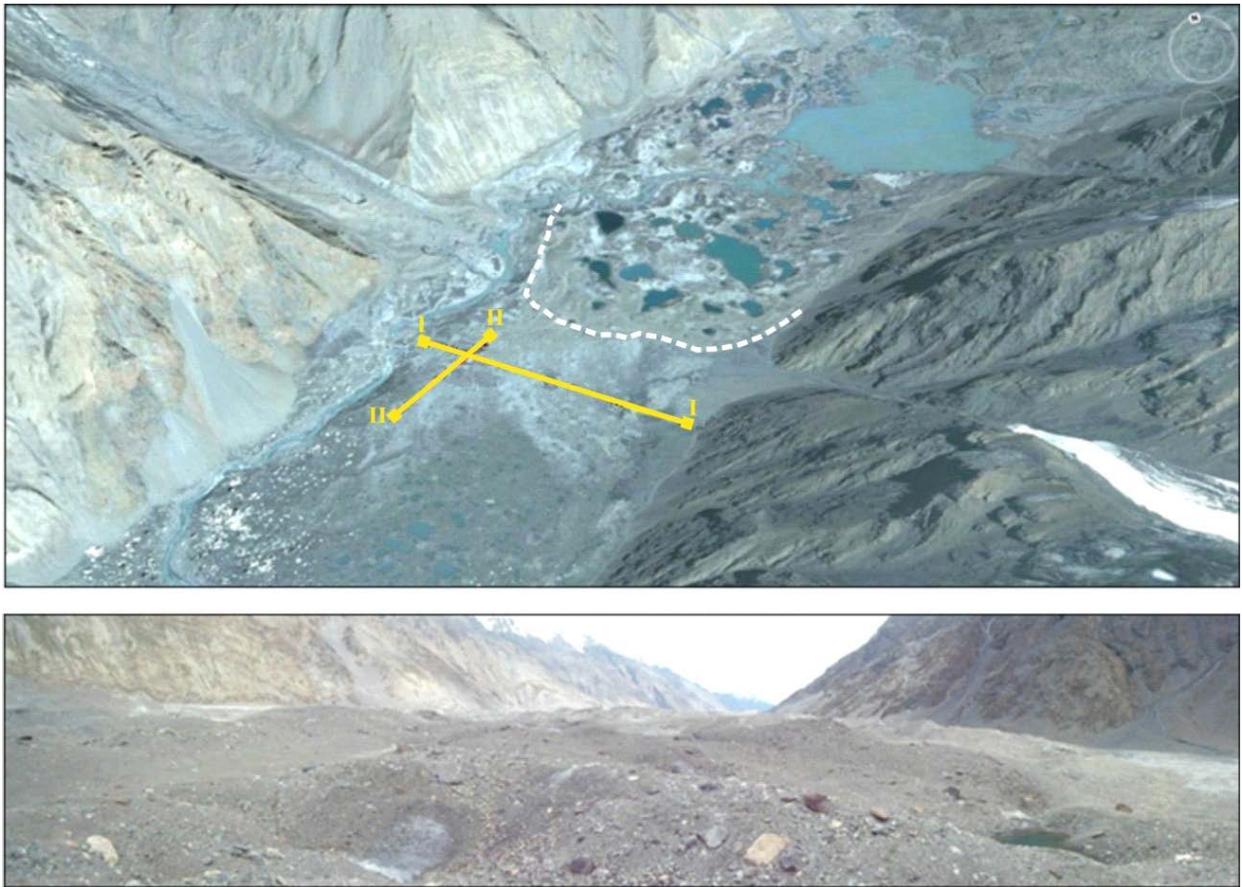


Рис. 2.2.2.4 Верхний снимок - пространственное положение электроразведочных профилей I-I и II-II на Перемычке оз. Мерцбахера, ниже мореного вала Верхнего озера, показанного пунктирной линией. Нижний снимок-вид на конечно-моренный комплекс Верхнего озера

В общей сложности на обеих томограммах (рис. 2.2.2.5), особенно отчётливо на разрезе II-II выделяются четыре различных по сопротивлению слоя:

Слой №1 - это верхний слой мощностью от 5 до 10 м с низким удельным сопротивлением от 20 до 900 Ом·м, выделяющейся на томограммах сине-голубым цветом.

Слой №2 - лежащий ниже приповерхностного слоя №1, характеризуется удельным сопротивлением от 1000 до 13 000 Ом·м и простирается до глубин 15-17 м от дневной поверхности. На томограммах этот волнообразный в продольном сечении слой выделен оттенками зелёного цвета.

Слой №3 – слой с удельным сопротивлением от 14 000 до 40 000 Ом·м, выделенный жёлто-коричневым цветом, залегающий на глубинах свыше 20-23 м.

Слой №4 – слой с сопротивлениями свыше 100 000 Ом·м, представленный на томограммах оттенками красно-бурого цветов.

Также для указанного участка исследований, по аналогии с районом Кумтора и на основе мерзлотно-геоэлектрической классификации, было выделено по температурному режиму три группы флювио-гляциальных отложений, залегающих на погребённом ледниковом ложе Перемычки оз. Мерцбахера:

талые мелкозернистые озёрные отложения сезонно-талого слоя ($\rho = 20-200$ Ом м) мощностью местами до 5 м, характеризующиеся положительными температурами ($t_{cp} > 0,5^{\circ}\text{C}$), ниже глубины 1,0-1,5 м эти озёрные отложения содержат прослойки галечника с вкраплениями валунов; переходные или находящиеся на грани оттаивания слои грунтов ($\rho = 200-500$ Ом м), залегающие до глубины 25 м и характеризующиеся средними значениями температуры t_{cp} от 0 до $-0,9^{\circ}\text{C}$. Кровля этого промежуточного слоя повторяет волнообразную конфигурацию подошвы верхнего сезонно-талого слоя; многолетнемёрзлые отложения ($\rho > 500$ Ом м), подстилаемые мёртвым глетчерным льдом и характеризующиеся отрицательными температурами t_{cp} от -1, до $-2,6^{\circ}\text{C}$.

В результате исследований с помощью вертикального электрического зондирования участка «Перемычка» вблизи озера Мерцбахера установлено, что поперечный геоэлектрический разрез флювио - гляциальных отложений отличается существенной мозаичностью пространственной картины распределения сопротивлений в отличие от продольного разреза (вдоль долины), имеющего отчётливо выраженный послойный характер.

Послойный характер распределения сопротивлений продольного разреза объясняется тем, что на этом участке площади исследования визуально наблюдается переслаивание донных моренных отложений с прослоями погребенного льда. В начале и в конце продольного профиля имеются глубокие эрозионные врезы (Рис. 2.2.2.5).

Геоэлектрический разрез поперечного профиля представляет собой более мозаичную картину, что подтверждает предположение о произошедших здесь сложных физико-механических процессах при формировании перемычки.

Принимая во внимание происходящее потепление климата, можно предположить, что через какое-то время лёд в центральной части перемычки может протаять полностью с образованием сквозного талика на всём протяжении перемычки между озёрами. При этом не исключается последующее возникновение ещё одной – Центральной протоки, которая соединит оба озера. В этой связи целесообразно проводить регулярное геофизическое зондирование Перемычки оз. Мерцбахера в различных поперечных сечениях для заблаговременного выявления критической стадии возникновения протоки, чреватого непредсказуемыми гидрологическими последствиями и/или изменением режима опорожнения основного Нижнего озера.

Литература:

- Айрапетьянц С.Е., Баков Е.К. *Морфология ледникового озера Мерцбахера и механизм его катастрофических прорывов // Некоторые закономерности оледенения Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим, 1971.- стр.75-84.*

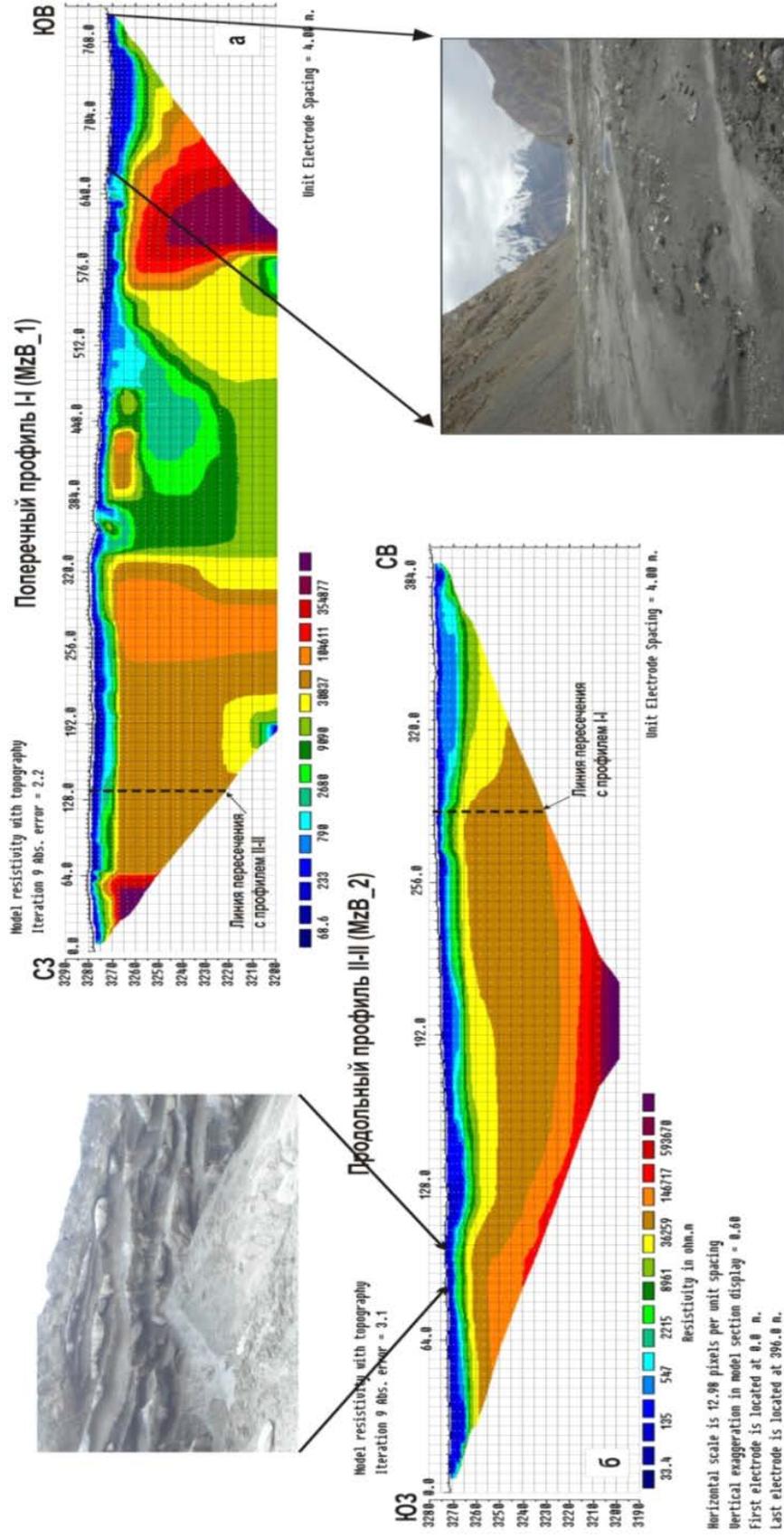


Рис. 2.2.2.5. Геоэлектрические разрезы (томограммы) по профилям I-I и II-II:

а) томограмма I-I демонстрирует неоднородный характер изменения электрического сопротивления в поперечном сечении долины;

б) томограмма II-II демонстрирует послынный характер изменения электрического сопротивления вдоль долины Северного Эдилчека

2.2.3 Измерения сейсмических шумов на леднике Южный Энилчек в районе высокогорного прорыво-опасного озера Мерцбахера

Ледник Южный Энилчек по морфологическому типу относится к дендритовым, который имел длину 60,5 км, и площадь 632,3 кв км по данным «Атласа карт Кыргызстана» до 1985 года, а по оценкам на 1990 год составлял длину 60 км и площадь 533 кв км. Уменьшение значений может быть связано как с деградацией ледникового тела, так и с точностью измерений.

Деградация ледника в связи с глобальным изменением климата происходит в зависимости от геокриологических условий расположения ледника. Скорости движения льда в зависимости от перехода от бортов к центральной части ледника варьируют от 4-8 до 12-15 и более сантиметров в сутки. Для оценки темпов деградации оледенения, необходимо точно рассчитать баланс ледниковой массы, для чего следует получить данные о его мощности, как по поперечникам, так и по профилю, т.е. по длине всего ледового тела (Levequeet. al., 2010; Chen Tsai, 2009; Мачерет и др., 1992).

Ранее в 1967, затем в 1990-х годах исследователи из Ленинградского университета, Института географии АН СССР и Томского политехнического института с использованием портативных локаторов ТГУ-700 и МПИ-8 провели радарное зондирование ледника Южный Энилчек в районе озера Мерцбахера. На основе 400 точек зондирования тела ледника было установлено, что толщина льда в районе ледяной плотины озера Мерцбахера составляет 375 метров. В средней и верхней части ледника мощность изменяется от 250 до 350 метров. Близ ледникового притока Шокальского мощность ледника Южный Энилчек составляет 160 метров (Мачерет и др., 1992).



Рис. 2.2.3.1. Измерение сейсмических шумов на леднике Южный Энилчек в районе озера Мерцбахера: слева – поверхность морены ледника Южный Энилчек; в центре - обзорный снимок ледника Южный Энилчек и справа - левобережный приток ледника Южный Энилчек вблизи малого висячего ледника, расположенного к юго-востоку от обсерватории ЦАИИЗ. Ширина ледника составляет 3,5 км. На рисунке в центре видно зеркало воды озера Мерцбахера с плавающими на нем айсбергами.

В целях определения мощности ледника в районе озера Мерцбахера сотрудники ЦАИИЗ (Усупаев Ш., Орунбаев С. и Коноков Т.) в июле 2011 года произвели записи сейсмических шумов с помощью мобильных сейсмостанций (рис. 2.2.3.1).

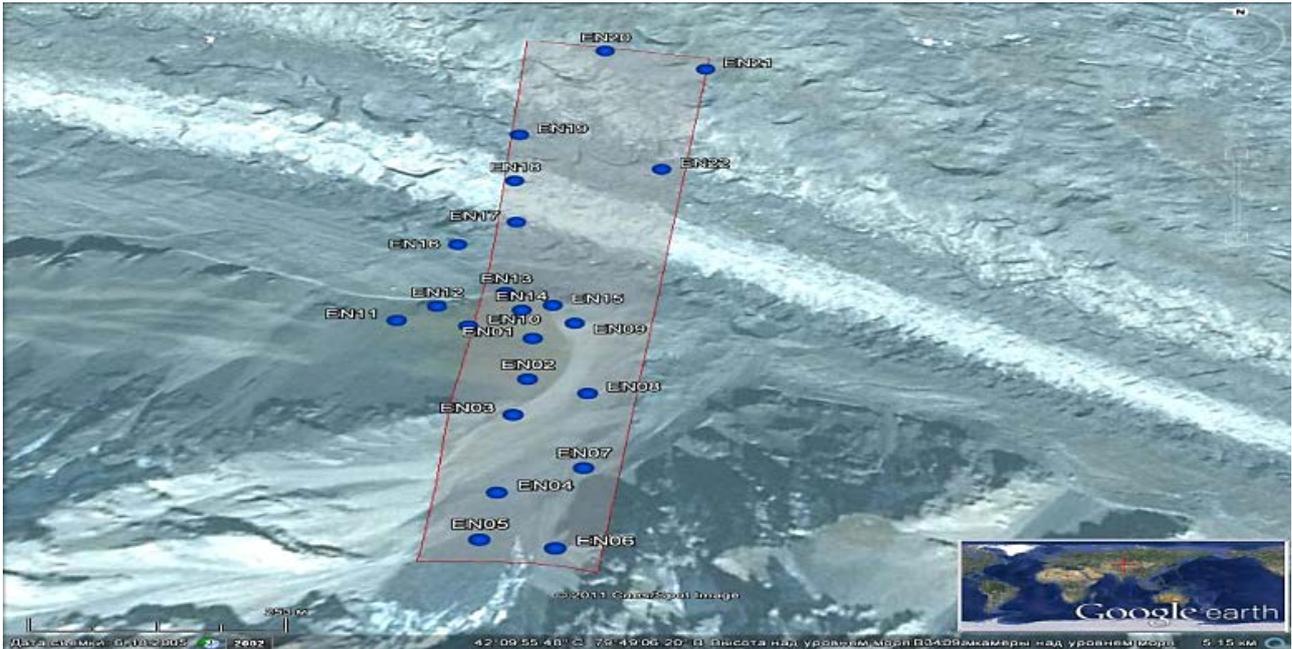


Рис. 2.2.3.2. Расположение точек измерения сейсмических шумов по профилю (22 пункта, длина профиля-1,5 км) на космическом снимке.

Измерения производились вдоль профиля в 22 точках (рис. 2.2.3.2). Регистрация колебаний на массивах моренных грунтов и на ледниковой толще проводилась сейсмостанцией Mark (сенсор MarсL3D4 и дигитайзер EDL). Продолжительность каждой записи составляла минимум 30 минут. Для определения резонансных частот отложений, применялся метод спектральных отношений (H/Vratio) горизонтальных компонент записи к вертикальной.

Результаты анализа показали, что основной пик резонансных колебаний частиц льда приходится на частоты 6,7 Hz и 8 Hz. Вычисление мощности ледника производилось по формуле:

$$f = V_s / 4h,$$

где: f - резонансная частота, Гц;

V_s - скорость распространения поперечной волны, км/с;

h - толщина слоя, м.

Значение скорости поперечной волны было принято по результатам работ (Leveque et al., 2010; Chen Tsai, 2009), где указано, что, скорость V_s волны варьируют от 2,0 км/с на нижней границе ледника до 0,9 км/с на поверхности. На основании этого, в наших расчетах мы использовали значение

$$V_s = (V_1 + V_2) / 2 = 1.45 \text{ км/с}$$

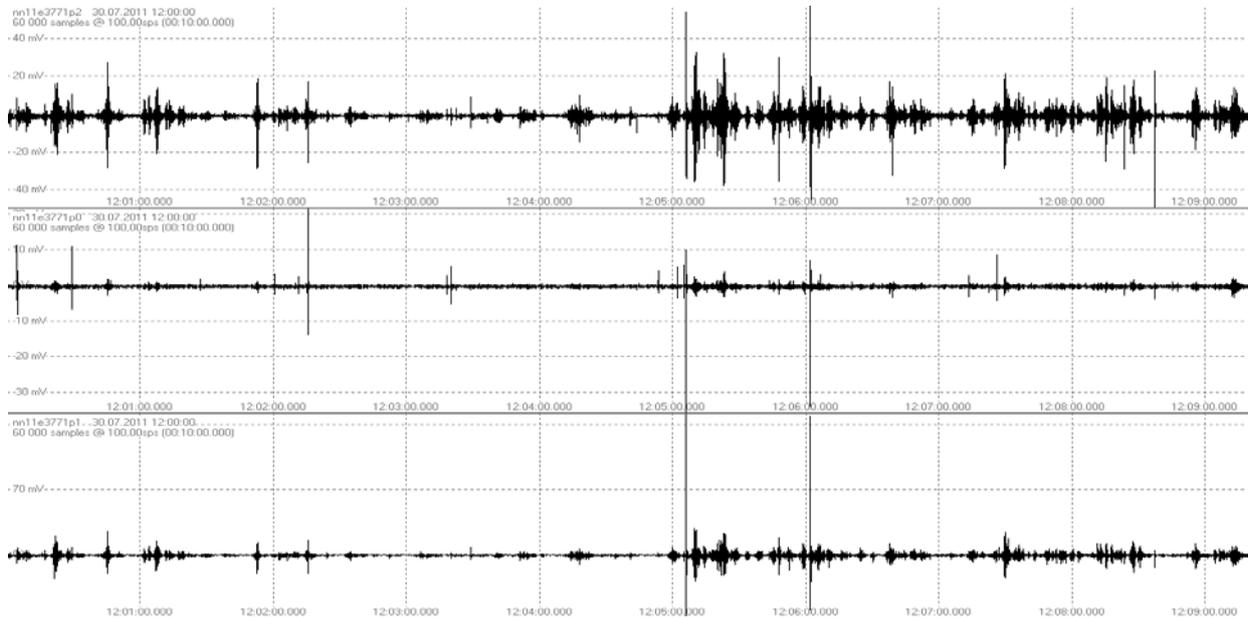


Рис. 2.2.3.3. Пример записи трех компонент сейсмических шумов в точке EN22, расположенной на морене в 150 метрах от левого борта ледника Южный Энилчек.

На рисунке 2.2.3.4 показан пример обработки записей шумов для точки EN05. 30-минутная запись была разделена на 60-секундные отрезки, для которых строились спектры. Затем вычислялись отношения спектров (см. рис. 2.2.3.4). На рисунке видно, что пик резонансной частоты равен $f=6,3$ Гц и, следовательно, толщина ледяного слоя h в этой точке составляет 42,3 м.

Результаты обработки шумов в 22 пунктах измерений по профилю показали, что наибольшая мощность ледника Южный Энилчек составляет 137 метров (левая часть рисунка 2.2.3.5), а левобережного притока ледника - 42,3 м (справа).

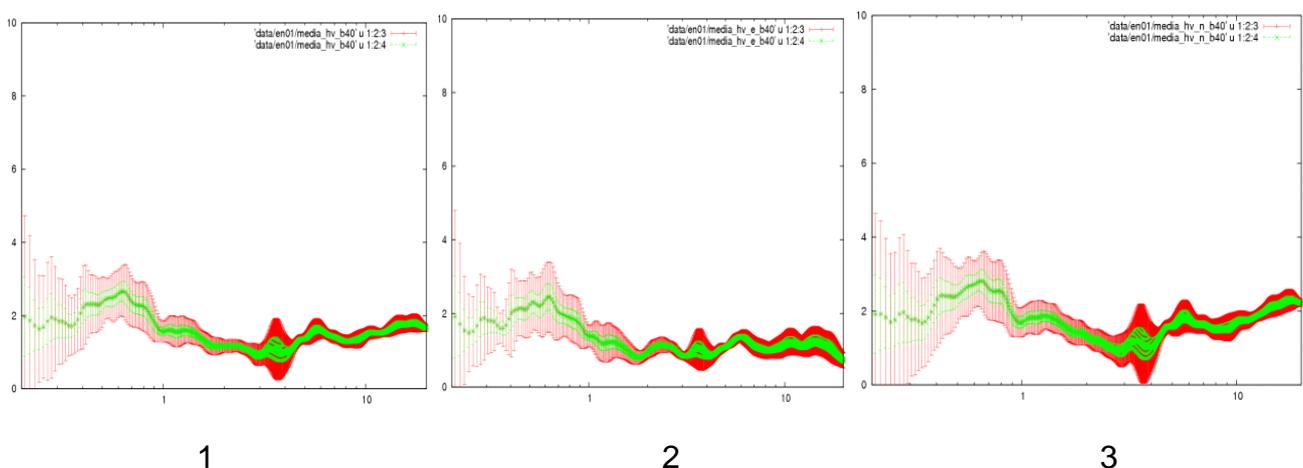


Рис. 2.2.3.4. Спектры 60-ти секундных записей шумов по станции EN05.

1. - Отношение спектров векторной суммы двух горизонтальных составляющих к вертикальной;
2. - Отношение компоненты E-W к Z;
3. - Отношение компоненты N-S к Z.

Измерение шумов по профилю (0-1500м) на леднике Еныльчек

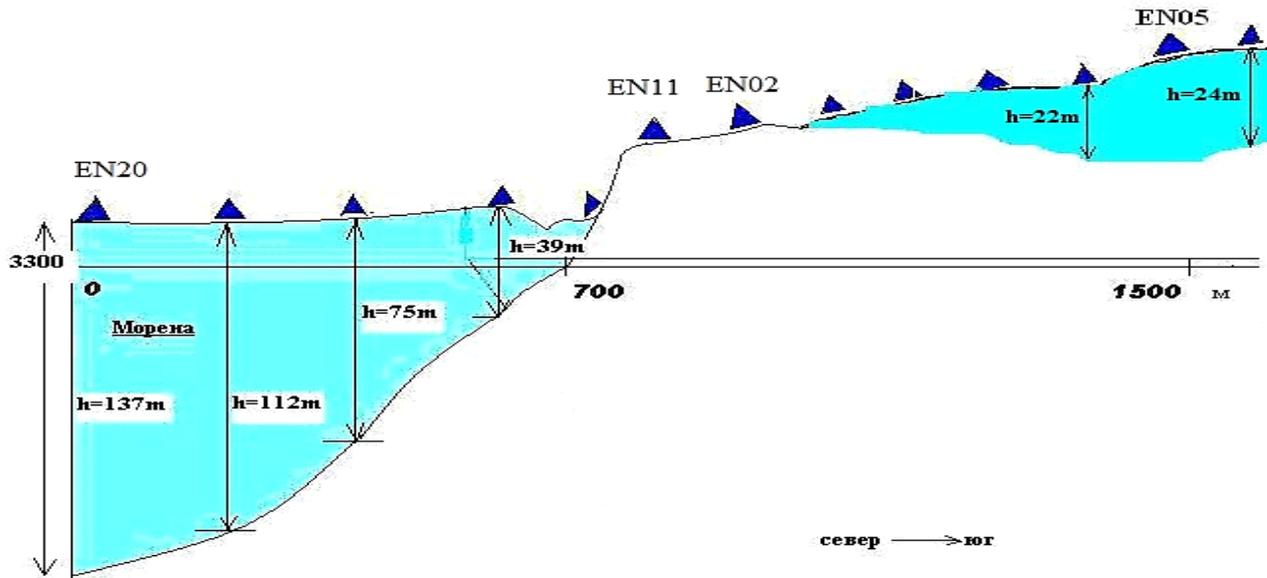


Рис. 2.2.3.5. Схема сечения ледника Южный Эныльчек (левая часть рисунка) и малого висячего ледника (правая часть рисунка) вдоль профиля, показанного на рис. 2.2.3.2.

В 2012 году аналогичные измерения были выполнены по четырем профилям на леднике Эныльчек и на грунтовой (моренной) плотинной перемычке между верхним и нижним озерами Мерцбахера (рис. 2.2.3.6).



Рис. 2.2.3.6.. Расположение пунктов измерений сейсмических шумов: слева - по четырем профилям на леднике Эныльчек (всего 48 точек) и справа – по трем профилям на перемычке (16 точек).

Среди полученных записей есть - сложная резонансная частота, когда наблюдается несколько пиков в спектральном отношении, что может свидетельствовать о наличии сложной структуры, слабом отличии импеданса, сложной топографии поверхности.

В результате предварительной обработки записей сейсмических шумов установлено следующее. Мощность моренной плотинной перемычки по предварительным оценкам составляет около 68 метров, а толщина h ледника в точке en123 равна 47метрам. При этом глубина подошвы троговой долины, покрытой до сих пор льдом, составила 112 метров. Фактически озера Мерцбахера, как нижняя, так и верхняя ее “ванны” размещены на оттаявшей поверхности ледника северный Энгилчек. Таким образом, в период существования единого озера Мерцбахера его глубина вероятно могла иметь глубину до 68 метров.

Построенная структура ледяного слоя вдоль профиля «перемычка», протягивающегося с северо-западного берега к юго-восточному (рис.2.2.3.7), показывает значения глубин до 300 метров. Важно отметить что, на полученных спектрах отмечаются также пики на более низких частотах. Расчеты показывают, что на глубинах 40-50 метров присутствует некоторый слой с отличающимися плотностными свойствами. Возможно, что этот слой представляет собой ту плотину, которая разрывается ежегодно, сбрасывая воды в нижнюю ванну. А на глубине 170-250 м, ниже рельефа морены выделяется еще одна зона, где автор предполагает наличие осадочного чехла, расположенного на скальных породах.

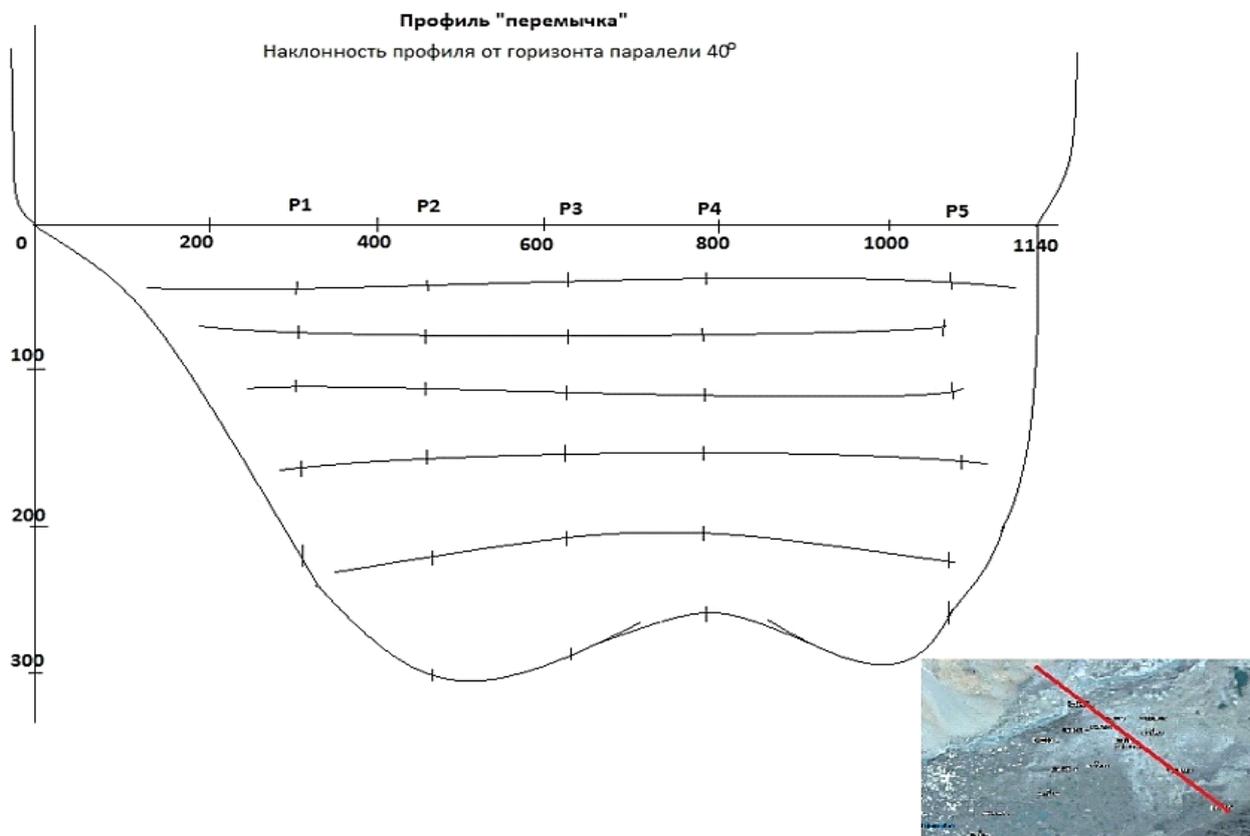


Рис. 2.2.3.7. Сечение ледника Энгилчек вдоль профиля (красная линия на нижнем рисунке) «Перемычка», длина профиля - 1-1,2 км.

Профиль участка «Перемычка» расположен в 1500 метрах от района ледовой плотины озера Мерцбахера в северо-восточном направлении, тогда, как это указывалось выше, в работе (Мачерет и др., 1992), ранее измерения производились

в районе плотины. В районе участка «Перемычка» мощность ледника на 50-100 метров меньше, чем в районе ледяной плотины. Возможно, эта разница определяется циклическим характером деградации ледника. Чтобы понять причины этих изменений нужно иметь данные измерений, выполненных одним видом приборов (одним методом) в течение длительного времени (десятилетия).

Литература:

- *Leveque J-J., Maggi A. and Souriau A. Seismological constraints on ice properties at Dome C, Antarctica, from H/V spectral ratios. // Antarctic Science. Volume 22 , Issue 05, Октябрь 2010. Cambridge University Press, pp 572-579*
- *Victor Chen Tsai. The Use of Simple Physical Models in Seismology and Glaciology. Theses of PhD dissertation, 2009, Harward University.*
- *Мачерет Ю.А., Никитин С.А., Бабенко А.Н., Веснина А.В., Боброва Л.И., Санкин Л.В. Толщина и строение ледника Южный Иньльчек по данным радиозондирования. Труды ИГАН СССР, 1992, с.86-97.*

2.2.4 Магнитометрические исследования на участке слияния ледников Южный и Северный Энилчек в районе озера Мерцбахера

В 2011 - 2013 гг. были проведены площадные и профильные магнитометрические съемки на участке слияния ледников Южный и Северный Энилчек в районе озера Мерцбахера. В задачу проведенных магнитометрических исследований входило подтверждение наличия разрывных структур и ригелей под ледником, а также с целью картирования моренных отложений в магнитном поле. В качестве измерительных приборов использовались протонные магнитометры ММП-203.

В июле-сентябре 2011 г. магнитометрические измерения были выполнены в 140 точках по пяти профилям, общей длиной более 12 км, а также на территории базового лагеря «Поляна». Перед началом профильных наблюдений по результатам микромагнитной съемки было выбрано место в спокойном магнитном поле для установки контрольного пункта для измерения вариаций магнитного поля Земли. Контрольный пункт был установлен в районе обсерватории имени Г.Мерцбахера - была установлена бетонная тумба из немагнитных материалов высотой 1.5 м.

На рисунке 2.2.4.1 показано положение профилей ПР-1 - ПР-5. Малиновым цветом нанесены разломы, а красным цветом – региональные и локальные линеаменты. (карта, 1980). Черная полоса представляет собой региональный линеамент, выявленный по космоснимкам. Интерпретация полученных материалов магнитометрической съемки подтвердила существование этой структуры. Впервые удалось установить ширину этого линеамента – 160 м. Кроме того была выявлена разрывная зона шириной 50 м, скрытая под ледником (темно-красная линия). Протяженность выявленной разрывной зоны по предварительным оценкам ограничивается профилями ПР-1 и ПР-5.

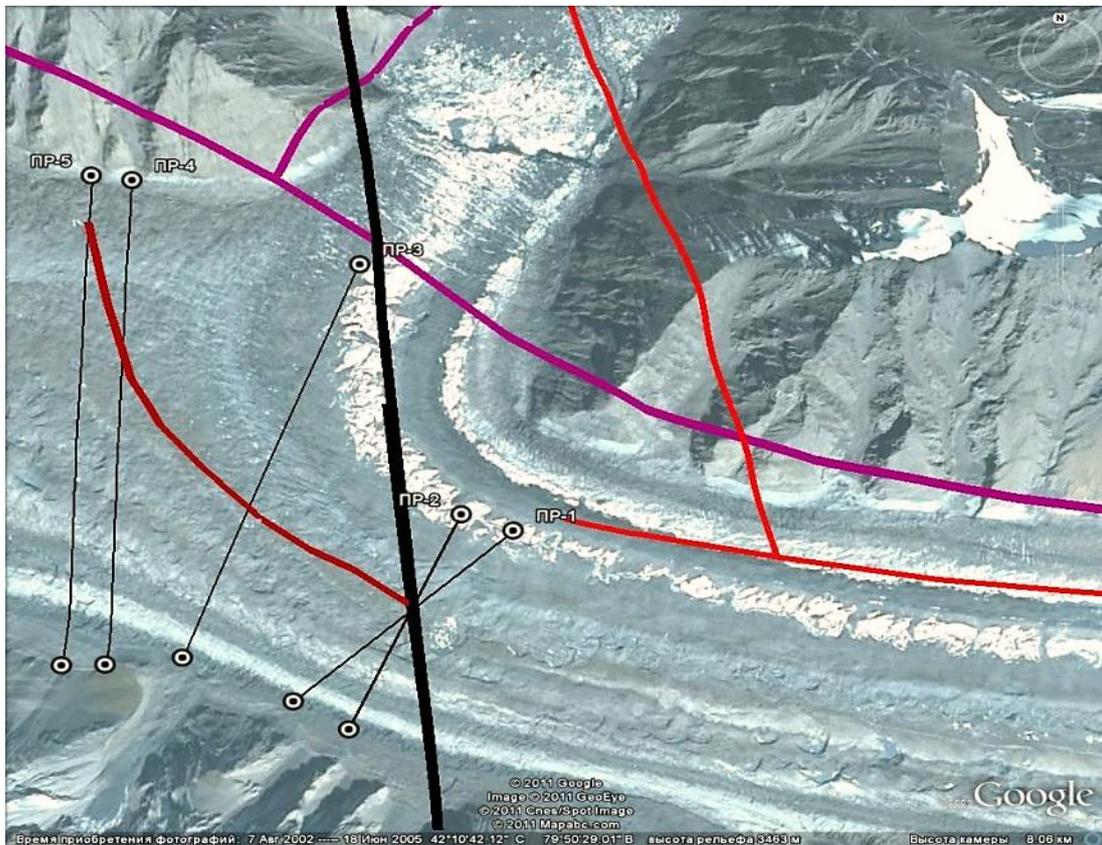


Рис. 2.2.4.1. Магнитометрические профили на космоснимке

В августе 2012 года были проведены магнитометрические исследования грунтовой перемычки, разделяющей на две части озеро Мерцбахера. Западная граница перемычки, сложенная озерными отложениями, граничит с началом чаши нижнего озера, которая завершается подпрудной ледовой плотиной, являющейся активной частью ледника Южный Энилчек. На карте (рис. 2.2.4.2) красным цветом различной интенсивности показаны средне- и высокомагнитные породы. Цветами синего и фиолетового оттенков (нулевые и отрицательные значения магнитного поля) показаны слабомагнитные породы.

Карта изолиний аномального магнитного поля (рис. 2.2.4.2) была также представлена в виде объемной диаграммы (рис. 2.2.4.3). Сравнивая диаграммы рельефа перемычки (рис. 2.2.4.4) с объемной диаграммой магнитных аномалий (рис. 2.2.4.3), можно видеть корреляцию между ними. По магнитным свойствам ложе перемычки имеет подковообразный ригельный выступ, обращенный дугой на запад, в сторону ледовой плотины озера.

Таким образом, можно заключить, что с самого зарождения перемычка создавала барьер для накопления донных осадков и сформировала своеобразную грунтовую намывную плотину, способствовавшую образованию достаточно широкой границы раздела между верхней и нижней частями озера Мерцбахера. Сложенная озерными отложениями и флювиогляциальными образованиями перемычка имеет два прорана. В северной части перемычки выделяются участки с малыми значениями магнитного поля.

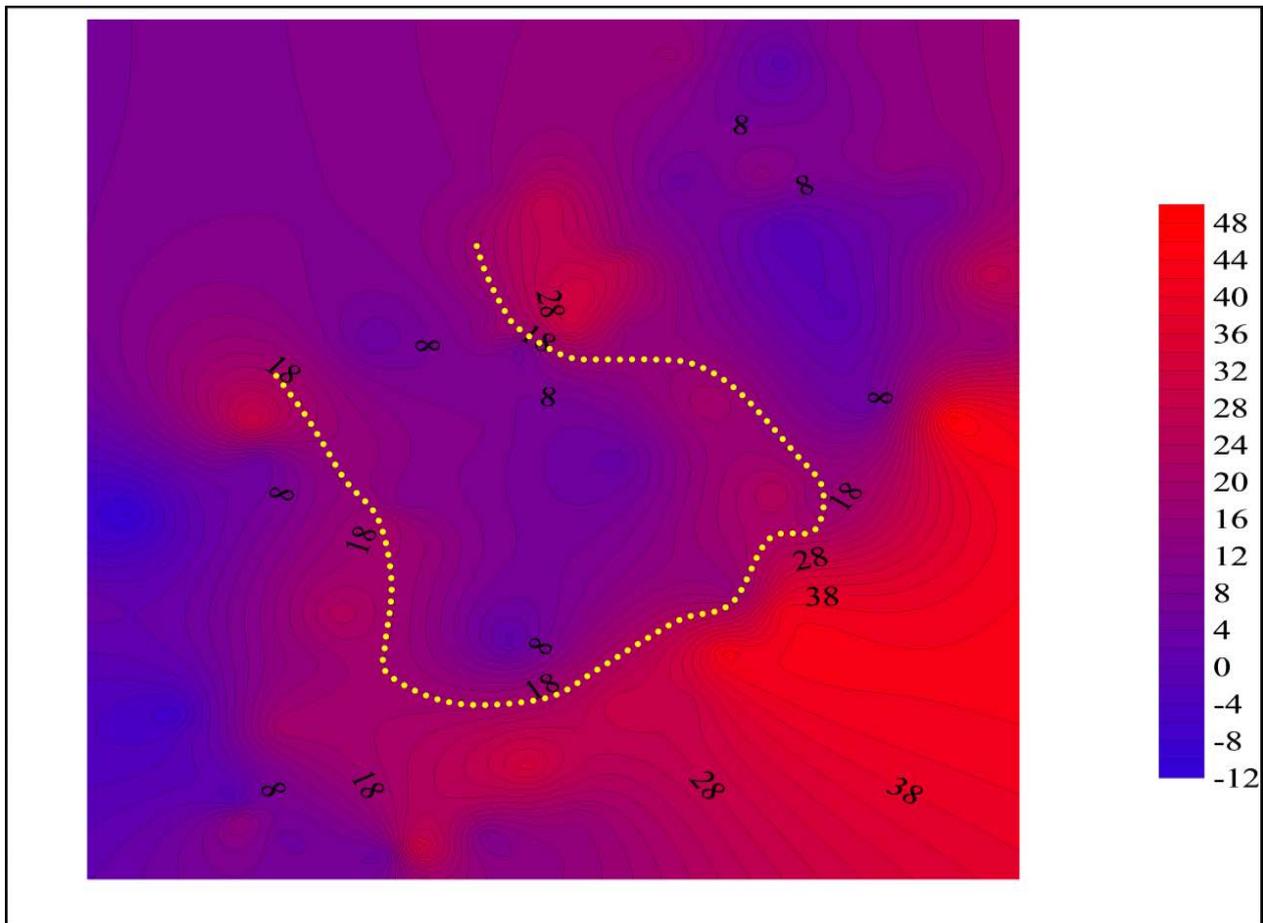


Рис. 2.2.4.2. Карта изолиний аномального магнитного поля Земли в районе перемычки.

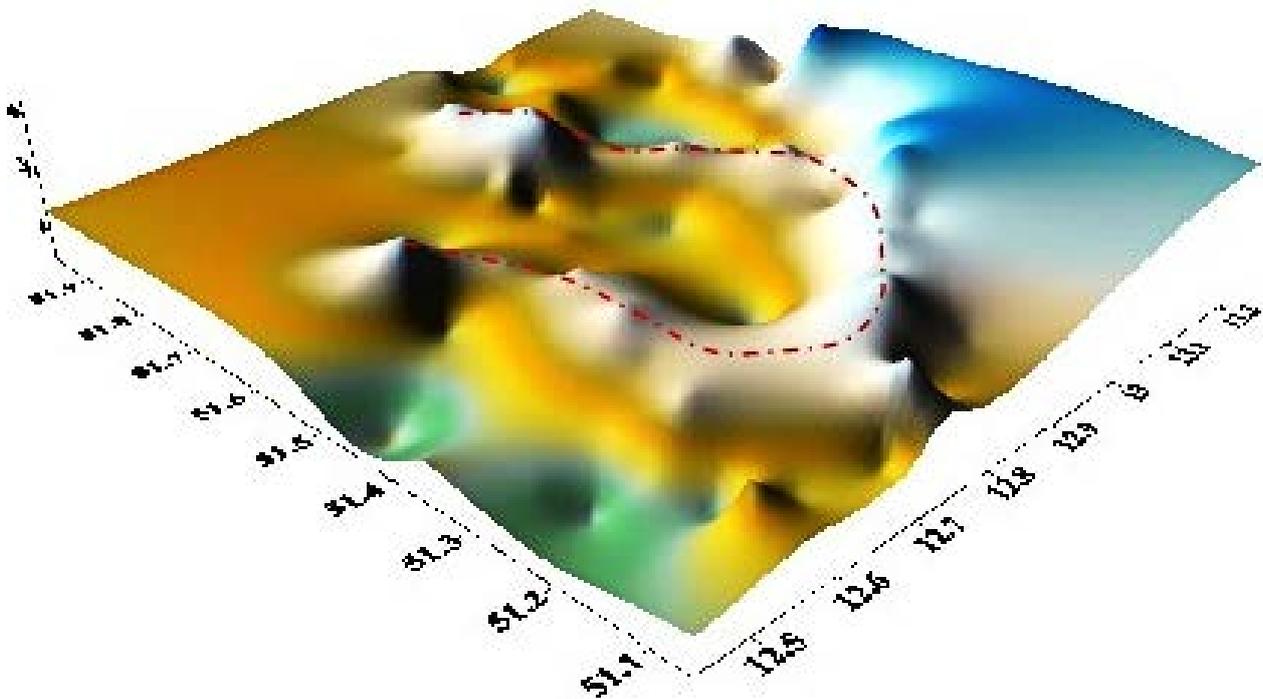


Рис. 2.2.4.3. Объемная диаграмма магнитных аномалий ложа грунтовой перемычки между верхним и нижним озерами Мерцбахера.

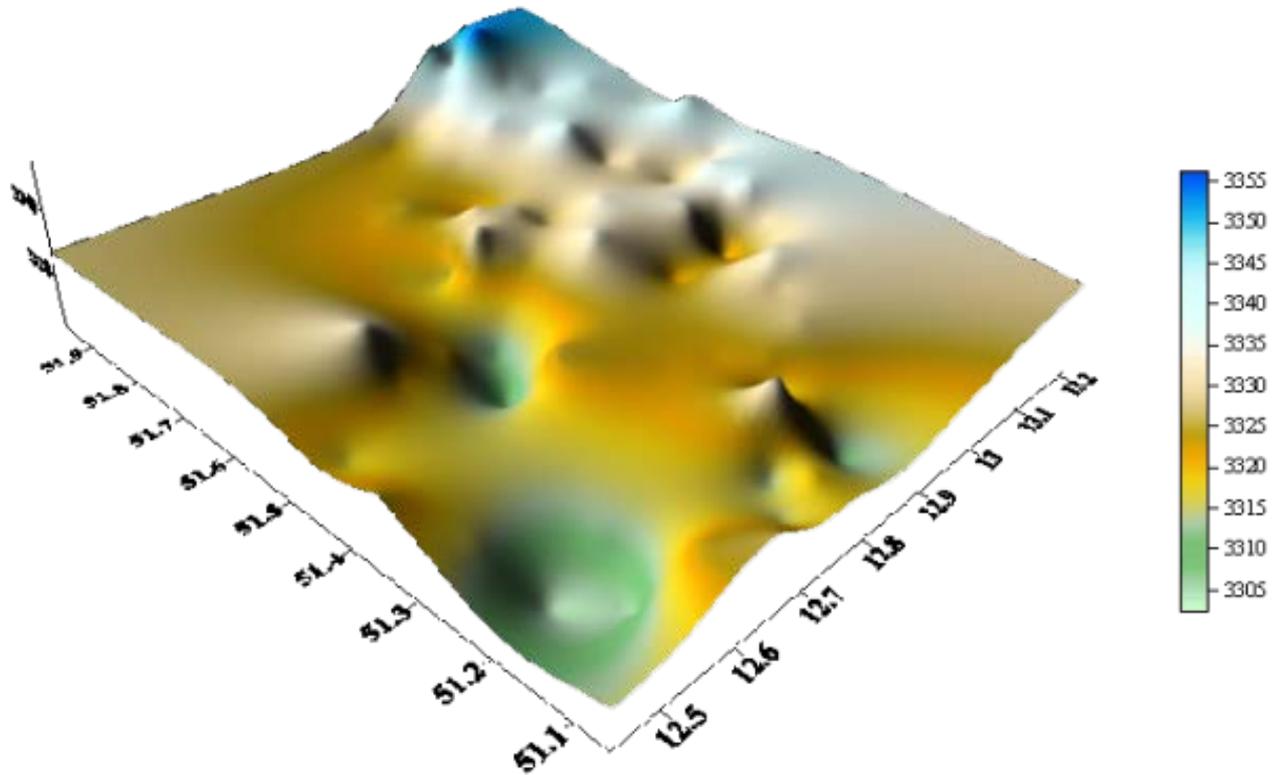


Рис. 2.2.4.4. Диаграмма рельефа магнитных аномалий ложа грунтовой перемычки между верхним и нижним озерами Мерцбахера.

Здесь, по-видимому, длительное время существовал канал стока, который выработал современное русло реки Северный Энилчек, что способствовало сбрасыванию запрудных вод в период наполнения водоема из верхней чаши в нижнее озеро. Основная часть воды, наполняющая нижнее озеро, обеспечивается именно данной рекой, имеющей большой расход, позволяющий за достаточно короткие сроки наполнить чашу водоема. Южный проран, в настоящее время представлен мелководным руслом водотока временного характера, соединяющего верхнюю чашу озера с нижней. Вероятно, он обеспечивает активный водообмен между двумя частями исследуемого водоема в условиях максимального заполнения чаши озера.

В июле-августе 2013 г. магнитометрические измерения были выполнены в 120 точках по 10 профилям, общей длиной более 10 км. Площадь исследования составила около 4 кв. км. Одной из задач этого этапа измерений было подтверждение предполагаемого ригеля под ледником, выявленного в результате профильных измерений в предыдущие годы.

Результаты площадной магнитометрической съемки представлены в виде карты аномального магнитного поля (ΔT) (рис. 2.2.4.5) и ее 3D-изображения (рис. 2.2.4.6). Троговая долина ледника Южный Энилчек представлена в основном андезитовыми порфиридами ($\approx 1000-5000 \times 10^{-6}$ СГС) силурийской системы (S2ld2). Ледник Южный Энилчек при своем движении достигнув регионального линеамента, существование которого было инструментально подтверждено в 2011 году, начал вспахивать ослабленные трещиноватые горные породы, образуя «ванны выпахивания» и

соответственно дугообразный ригель, который стал упором при движении ледника Южный Энилчек и вызвал изменение направления его правых потоков в сторону озера Мерцбахера.

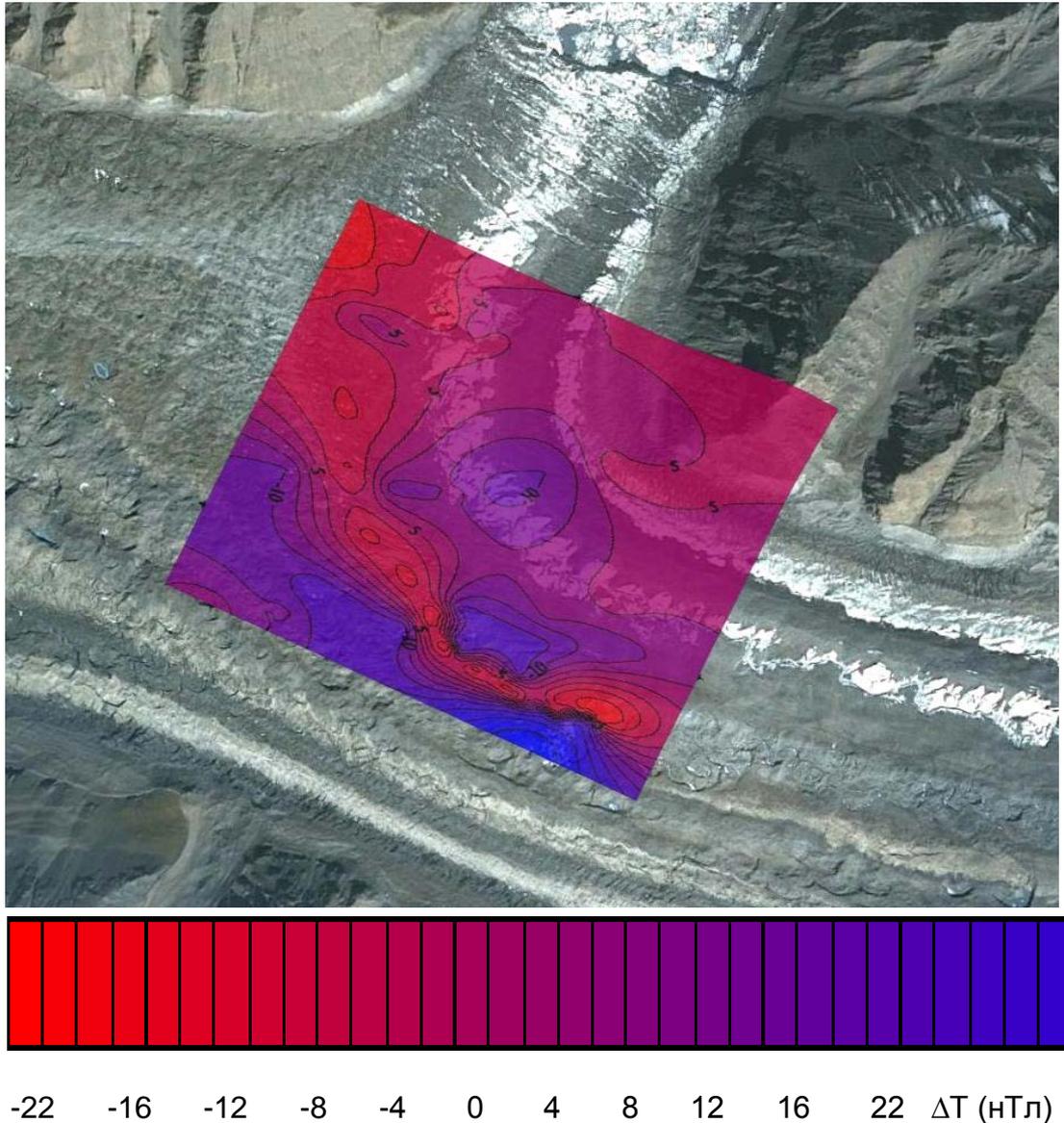


Рис. 2.2.4.5. Космоснимок участка ледников Южный и Северный Энилчек с наложенной картой изолиний аномального магнитного поля ΔT (нТл)

На 3D-изображении магнитного поля (рис.2.2.4.6) интенсивными положительными значениями (синий цвет) картируются неразрушенные коренные горные породы, предварительно интерпретируемые как ригель, а отрицательные значения приурочены к бортам ригеля (выделены коричневым цветом) и интерпретируются как «ванны выпахивания».

Тело ледника Южный Энилчек представляет собой слияние нескольких потоков, выходящих из более мелких ледников. Более мощные правые потоки ледника Южный Энилчек углубили свое ложе сильнее, чем маломощные потоки левых боковых долин.

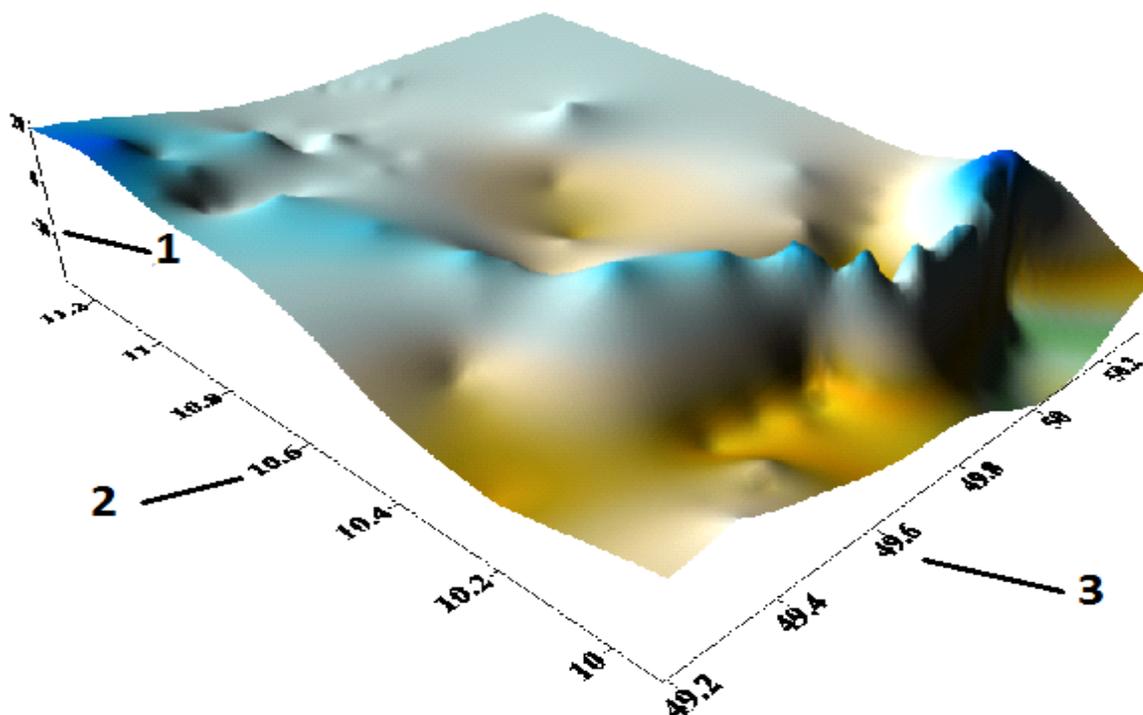


Рис. 2.2.4.6 3D – изображение карты аномального магнитного поля (ΔT) участка слияния ледников Южный и Северный Энилчек

1 - значения аномального магнитного поля ΔT (нТл) (от -22 до 22); 2 - широта 42.10.0 – 42.11.2; 3 - долгота 79.49.2 - 79.50.2

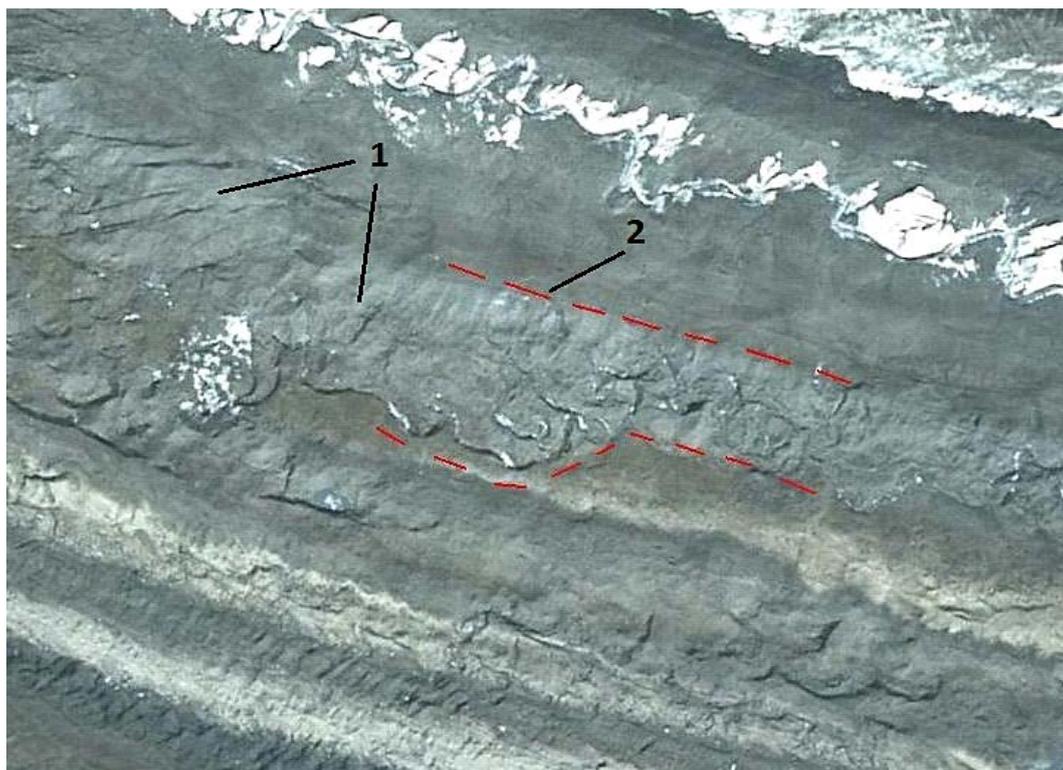


Рис. 2.2.4.7. Космоснимок верхней части площади исследования. 1 - поперечные трещины; 2 - границы морены

Визуальным доказательством наличия ригеля также является космоснимок верхней части площади исследования (рис. 2.2.4.7). На космоснимке отчетливо видно как один из потоков ледника с мореной серого цвета наплывает на соседний поток с мореной коричневого цвета и увеличивается в ширине от 180 м до 300 м. Через 500 м вниз по движению ледника появляются поперечные трещины. Вероятно, место, где морена серого цвета увеличивается в ширине, и является началом ригеля.

Сравнение космоснимков разных лет показало, что при движении ледника это место (начало ригеля) не меняет своих координат. Скорость движения ледника Южный Энилчекпо данным GPS-измерений приемником TOPCONTPS GB-1000 комплексной станции ICEDAM составила 94 м в год.

Анализ графиков, построенных по результатам радиолокационных исследований, проведенных в 1990 году Институтом географии РАН (Мачерет и др., 1992) позволил подтвердить предположение о наличии ригелей на исследуемом участке слияния ледников Южный и Северный Энилчек.

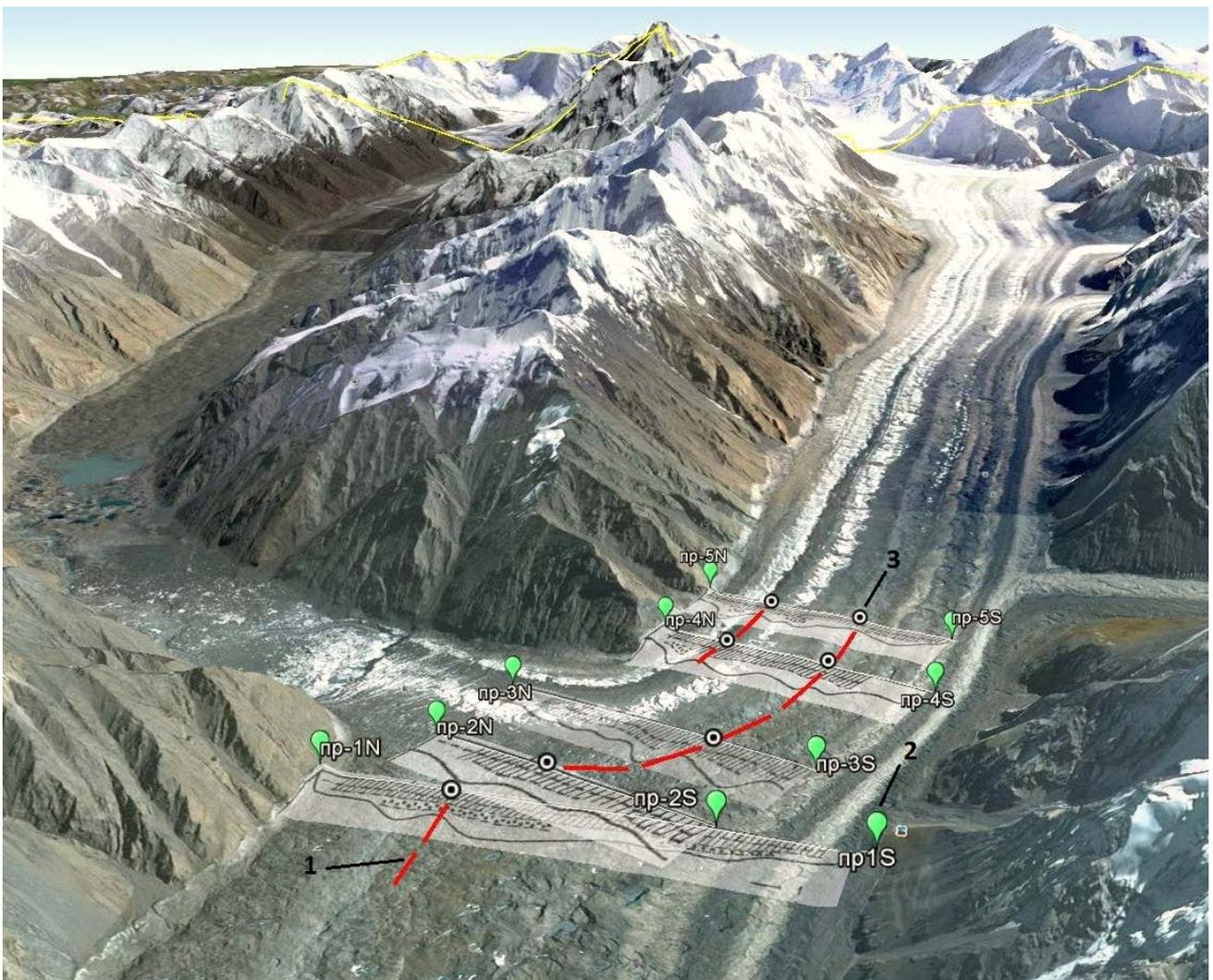


Рис. 2.2.4.8. Космоснимок с нанесенными профилями радиолокационного зондирования с графиками рельефа дна (Мачерет и др., 1992) и предполагаемыми ригелями. 1 - предполагаемые ригели; 2 - точки начала и конца профилей; 3 - точки максимумов на графиках, отождествляемые с вершинами предполагаемых ригелей.

Сопоставление результатов радиолокационного зондирования ледника Южный Энилчек в пределах профилей ПР-1-5 (Мачерет и др., 1992) и магнитометрических исследований позволило выделить три крупных ригеля, образовавшихся в результате экзарационной деятельности ледника. Ригели на участке слияния ледников Южный и Северный Энилчек продольные и дугообразные (рис. 2.2.4.8).

Первый ригель дугообразный, длиной 2.5 км и шириной основания 250-300 м расположен в пределах профилей ПР-2-5. Высота ригеля – 100 м. Этот ригель и является причиной поворота правых потоков ледника Южный Энилчек в сторону озера Мерцбахера.

Второй ригель расположен у северного борта ледника Южный Энилчек в пределах профилей ПР 4-5, ширина основания ригеля - 200 м, высота-100 м с северной стороны и 50 м с южной.

Ригели также возникают в местах слияния ледников, где они усиленно выпахивают ложе и переуглубляют долину.

Третий предполагаемый ригель, который отчетливо выражен на профиле ПР-1 (рис. 2.2.4.9) в нижней части площади исследования, расположен между ледником Южный Энилчек и так называемой «мертвой», неподвижной частью ледника Северный Энилчек.

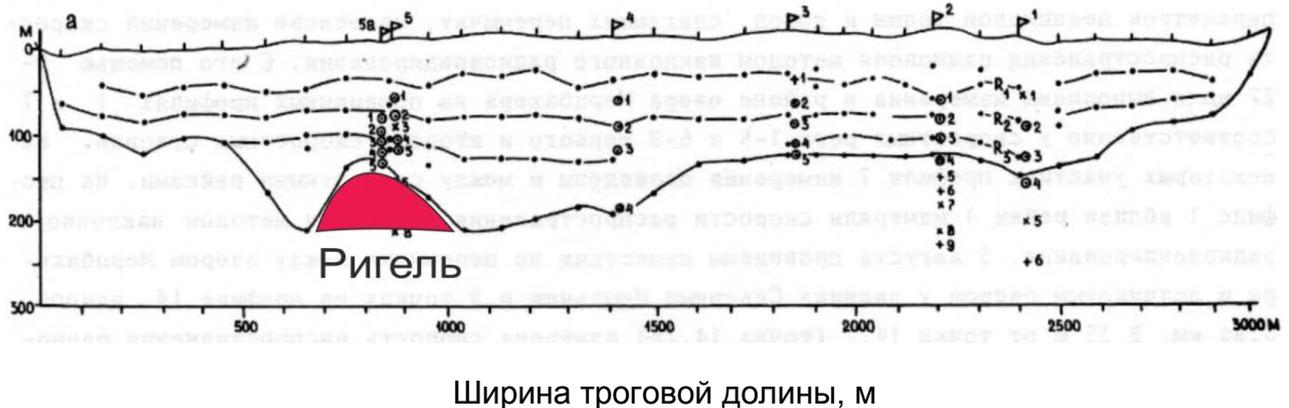


Рис. 2.2.4.9. Разрез ледников Северный и Южный Энилчек по поперечному профилю ПР-1 (Мачерет и др., 1992).

В результате площадной магнитометрической съемки в районе слияния ледников Южный и Северный Энилчек были выявлены две интенсивные положительные аномалии. Первая аномалия расположена в ложе перемычки и связана с подковообразным ригельным выступом, обращенным дугой на запад, в сторону оз. Мерцбахера. Вторая аномалия дугообразной формы, интерпретируемая автором как ригель, который является упором при движении ледника Южный Энилчек и вызывает изменение направления его правых потоков в сторону озера Мерцбахера. Также было подтверждено наличие разрывных структур и ригелей под ледником. Задача

картирования моренных отложений в магнитном поле была решена путем сгущения точек наблюдений.

Литература:

- Мачерет Ю.Я., Никитин С.А., Бабенко А.Н., Веснин А.В., Боброва Л.И. Санкина Л.В. Толщина и строение ледника Южный Иньльчек по данным радиозондирования // Труды ИГАН СССР. 1992. С. 86-97.
- Карта "Линеаменты и кольцевые структуры". ГУГК при Совете Министров СССР. Космическая съемка 1980 г. Масштаб 1:500 000

2.2.5 Исследования ледников Абрамова, Голубина, Адыгене, Петрова и Карабаткак

В рамках проекта CAWa «Региональная исследовательская сеть «Вода в Центральной Азии» (CAWa)» [1] (2008 - 2013 гг.) ведутся наблюдения за таянием ледников с целью определения их баланса и тенденций развития, необходимых для прогноза изменения ледников и связанных с ними водных ресурсов.

С целью выяснения характера и тенденций изменения ледника Абрамова, расположенного в пределах Алайского хребта, были использованы разновременные космические снимки представленные на серверах Google Earth, USGS, Sovzond, а так же топографические карты, опубликованные данные и аэрофотоснимки из архивов советского периода. Кроме этого, были использованы результаты полевых измерений координат границы ледника, полученные в 2012, 2013 годах, с помощью GPS, а так же измерения на леднике толщины снежного покрова и его плотности.

Методика анализа границ ледника включала географическую привязку космических снимков и топографических карт в ГИС MapInfo в системе координат WGS 84 с последующим выделением разновременных контуров границ ледника и их сравнением. Привязка космических снимков выполнялась с учетом характерных неподвижных точек рельефа в непосредственной близости к границе ледника, что позволило оценить относительную ошибку привязки за счет геометрического искажения изображения объектов. На рисунках 2.2.5.1-2.2.5.2, фоновым космическим снимком, отображающим язык ледника Абрамова, является снимок спутника «GeoEye1», с сервера «Google Earth», дата съемки: 19.07.2007.

Граница ледника в 1978 году получена по привязанной по опорным точкам топографической карте масштаба 1:100000, а граница в 1986 году по топографической карте масштаба 1:25000, выполненной на основе стереотопографической съемки 1986 года и изданной в 1991 году Кыргызским аэрогеодезическим предприятием Госгеодезии СССР. Граница 2009 года получена по космическому снимку спутника «World View 1» из каталога «Совзонда», дата съемки 20.10.2009. Граница языка ледника в 2011 году определена относительно элементов рельефа на западном борту ледниковой долины по снимку с видеокамеры,

установленной в 2011 году на восточном борту долины ледника Абрамова сотрудниками Центрально-Азиатского института прикладных Исследований Земли совместно со швейцарскими партнерами (Department of Geosciences University of Fribourg, Switzerland) в рамках проекта «Вода в центральной Азии».

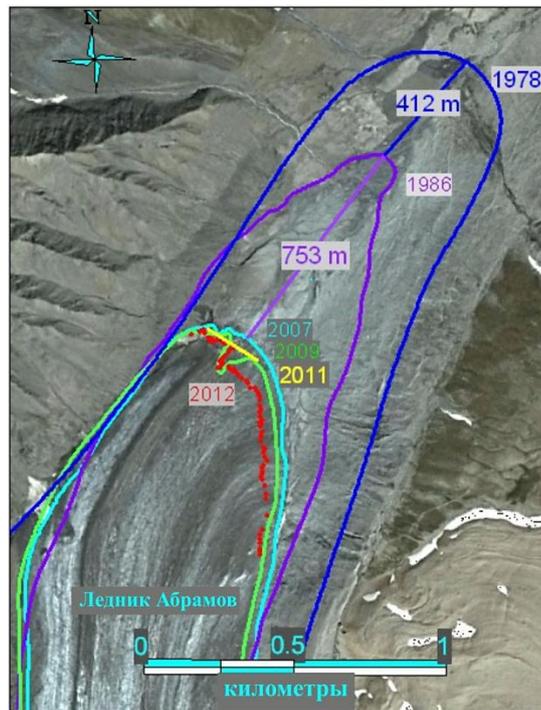


Рис. 2.2.5.1. Расположение конца языка ледника Абрамова в разное время



Рис. 2.2.5.2. Позиция границы ледника Абрамова в 2013 году по снимку спутника «Landsat 8» от 26.07.2013

Граница языка ледника в 2012 году зафиксирована с помощью GPS “Garmin e Trex” с ошибкой < 10 м. В целом, относительная ошибка привязки границ ледника в разное время оценивается 10-20 метров. На основе определенных границ, была вычислена скорость изменения площади ледника Абрамова за последние десятилетия. В

таблице 4.5.1 эти результаты приведены в сравнении с ранее полученными Глазыриным Г. и др. данными [3].

Таблица 2.2.5.1.

Период, годы	Скорость изменения площади ледника (кв.км/год; + приращение; - сокращение)	Примечание
1850-1900	-0,014	«Режим ледника Абрамова», Глазырин Г. и др. 1993 г.
1900-1936	-0,013	
1936-1967	-0,027	
1967-1970	-0,077	
1970-1973	+0,18	
1973-1974	+0,007	
1974-1984	-0,024	
1978-1986	-0,064	Данные ЦАИИЗ
1986-2007	-0,018	
2007-2012	-0,014	

Из таблицы 2.2.5.1 следует, что в последние годы скорость сокращения ледника близка к таковой во второй половине 19 –го века и эта тенденция сохраняется.

Помимо результатов анализа космических снимков, в 2012 году получена информация по величине абляции на леднике Абрамова по рейкам, установленным в 2011 году и измеренным в 2012 году. Эти результаты показаны на рисунке 2.2.5.3.

На основе данных по абляции, толщине и плотности снега в области аккумуляции нами приблизительно был вычислен баланс ледника в 2011-12 году он составил: удельная аккумуляция: + 63 г/см², абляция: – 293 г/см², таким образом, расход льда значительно превышает его накопление.

В целом, как видно из приведенного выше анализа, при отрицательном балансе массы, продолжается тенденция сокращения размера ледника Абрамова со скоростью порядка 0,014 км²/год. Линейная скорость отступления границы ледника с 1978 по 2012 год, определенная по максимальным расстояниям, составила 32-38 м/год, а в период с 2007 по 2012 годы, около 22 м/год. Характерной чертой является неравномерность скорости отступления ледника. Для ледника Абрамова она

особенно ярко проявилась в 1073-74 годах в виде значительной, около 300 м, подвижки, в результате которой произошло увеличение площади ледника. Эту неравномерность движения необходимо учитывать при анализе тенденций изменения и прогнозе изменения оледенения.



Рис. 2.2.5.3. Величина абляции на леднике Абрамова

С целью выяснения характера и тенденций изменения ледников, расположенных на северном склоне Кыргызского хребта (ледник Голубина, Адыгене) были использованы разновременные космические снимки, представленные на сервере Google Earth, аэрофотоснимки и данные GPS-измерений границы ледника. На леднике Голубина в 2011-2012 годах определены с помощью GPS позиции края языка, их контуры показаны на рисунке 2.2.5.4.

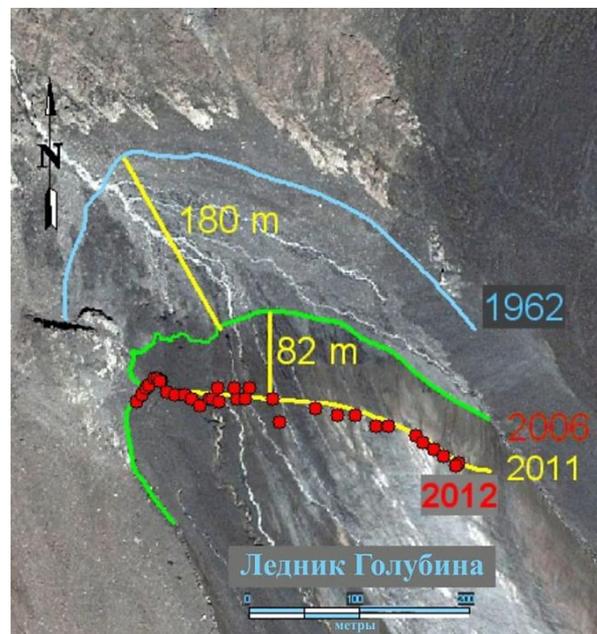


Рис. 2.2.5.4. Изменение позиции края языка ледника Голубина за 1962 - 2006 - 2012 гг.

В качестве основы, на этом рисунке использован космический снимок с сервера Google Earth, с разрешением до 1 метра, полученный спутником Quick Bird 24 июля 2006 года. Так же, на нем отображена позиция края языка ледника в 1962 году, полученная по дешифрированию аэрофотоснимка, при ошибке координатной привязки аэрофотоснимка снимка до 50 метров. По леднику Голубина, за 44 года, с 1962 по 2006 год, изменение по максимальным расстояниям положения конечной части ледника в сторону сокращения, составило максимум 180 м, при средней скорости движения около 4.1 м/год. За 6 лет, с 2006 по 2012 год сокращение ледника составило 82 метра и скорость сокращения составила 13,7 м/год, то есть в рассматриваемый период времени, скорость сокращения увеличилась приблизительно в 3.3 раза.

Сравнение контура языковой части ледника Адыгене (рис. 2.2.5.5), расположенном так же как и ледник Голубина в бассейне реки Ала-Арча, по снимку Quick Bird от 24 июля 2006 года с таковым, полученным по аэрофотоснимку 1962 года показало, что за 44 года, с 1962 по 2006 год, отступление языковой части составило минимум 345 м при средней скорости около 7.8 м/год и максимум около 520 м, при средней скорости около 12 м/год, при ошибке координатной привязки аэрофотоснимка до 50 метров. Таким образом, скорость отступления разных ледников в одном речном бассейне за период с 1962 по 2006 год различается в среднем в два раза, максимальная для ледника Адыгене и минимальная для ледника Голубина.

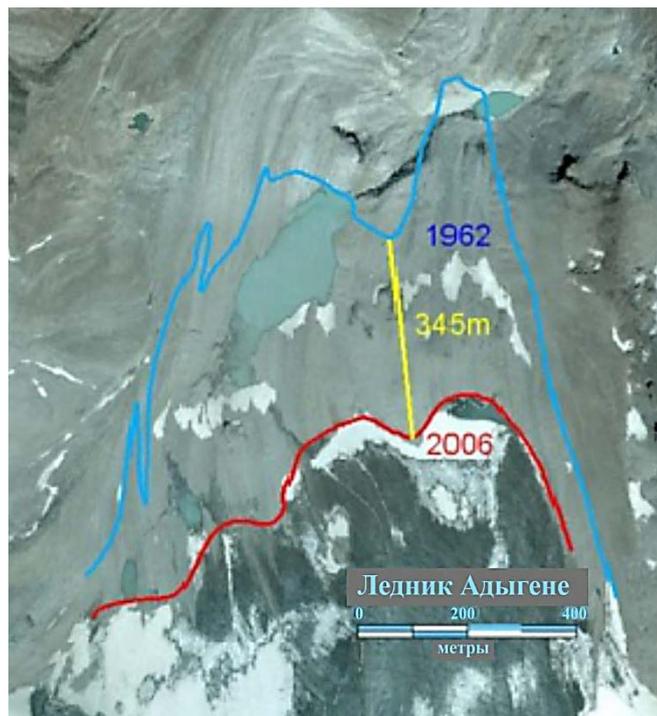


Рис. 2.2.5.5. Изменение позиции края языка ледника Адыгене за 1962-2006 гг.

Необходимо отметить, что в 2013 году, после многолетнего перерыва, в Бюллетене ледникового баланса массы №12 (2010-2011) Всемирной службы мониторинга ледников, опубликованы результаты изучения, начиная с 2010 года, баланса массы

ледника Голубина, выполненные в полевых условиях, исследователями ЦАИИЗ, германского Центра исследования земли (GFZ) и швейцарского университета Фрибурга (UniFR) [2].

Изменение положения границы языка ледника Петрова (рис. 2.2.5.6), в горном массиве Акшийряк, определено по космическому снимку «Quick Bird» с сервера Google Earth от 4.10.2002 года, снимку «Hexagon KH9» за 1980 год, снимку спутника «Spot 5» от 22.08.2007 года, полученному в рамках проекта CAW и снимку «Landsat 8» от 30.07.2013 года, полученному с сервера USGS.

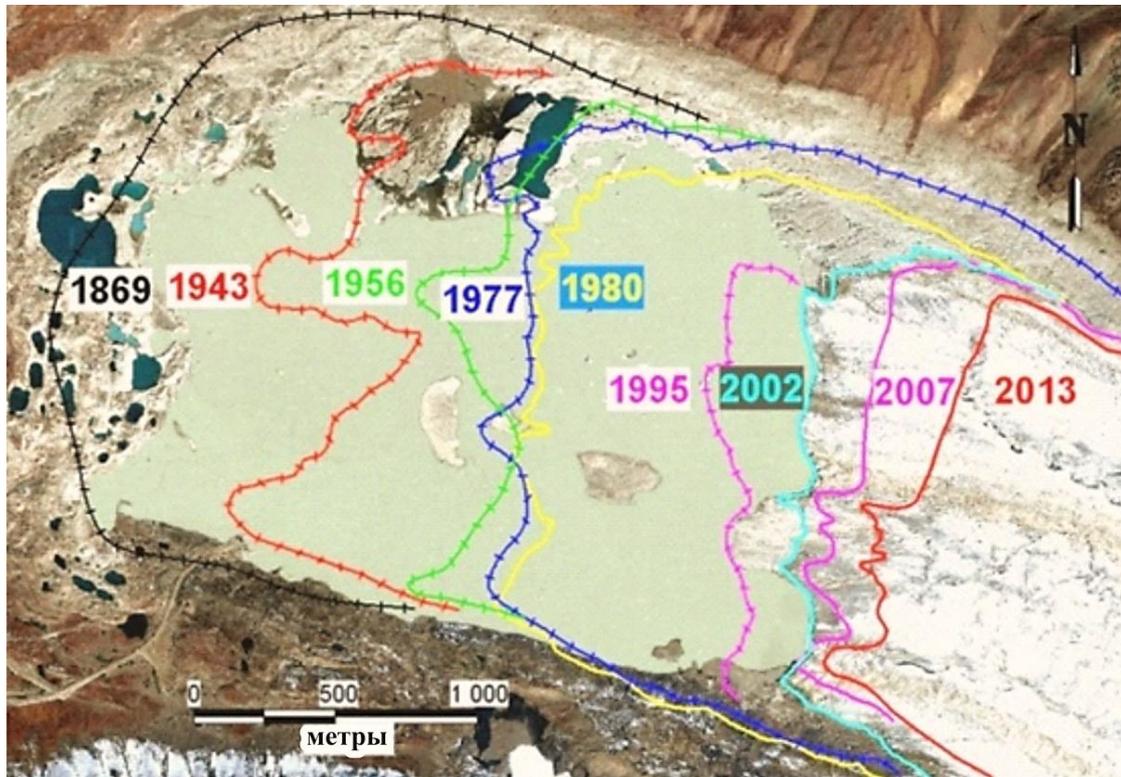


Рис. 2.2.5.6. Изменение позиции края языка ледника Петрова за 1869-2013 гг., (линии со штрихами – по данным Кузмиченка В.А., гладкие линии - по данным Мандычева А. (ЦАИИЗ).

Как следует из рисунка 2.2.5.6, за 144 года, с 1869 по 2013 год линейное сокращение ледника по максимальным расстояниям достигло около 3200 м., при средней скорости сокращения около 22,2 м/год. За последние одиннадцать лет с 2002 по 2013 гг. неравномерное сокращение ледника Петрова составило максимум 630 метров при скорости около 57 м/год.

Анализ скорости сокращения ледника Петрова показал значительную неравномерность изменения скорости в разные периоды времени, с изменением величины в несколько раз от 10 до 57 м/год.

Изменение положения языка ледника Карабаткак (рис.2.2.5.7), расположенного на северном склоне хребта Терской-Алатоо, определено по космическому снимку «Quick Bird» с сервера Google Earth от 4.10.2002 г., снимку спутника «World View1» от 13.10.2009 г., полученному с сервера «Sovzond», снимку спутника «Pleiades» от

25.09.2013 года с разрешением 1 м/пиксель, полученному в рамках проекта CAW и по результатам определения в 2011 году контура ледника с помощью GPS “Garmin e Trex” с ошибкой < 10 м. В целом, относительная ошибка геопозиционирования оценивается не более 20 метров. Сокращение площади ледника Карабаткак за период с 2002 по 2013 годы, по максимальным расстояниям, достигло 120 м., при средней скорости сокращения ледника около 11 м/год. Сокращение ледника происходит не только в его активной восточной части, но и в пассивной западной перекрытой мореной. По ранее выполненной нами оценке, начиная с 1947 по 2013 год ледник сократился на 920 м., при средней скорости около 14 м/год.

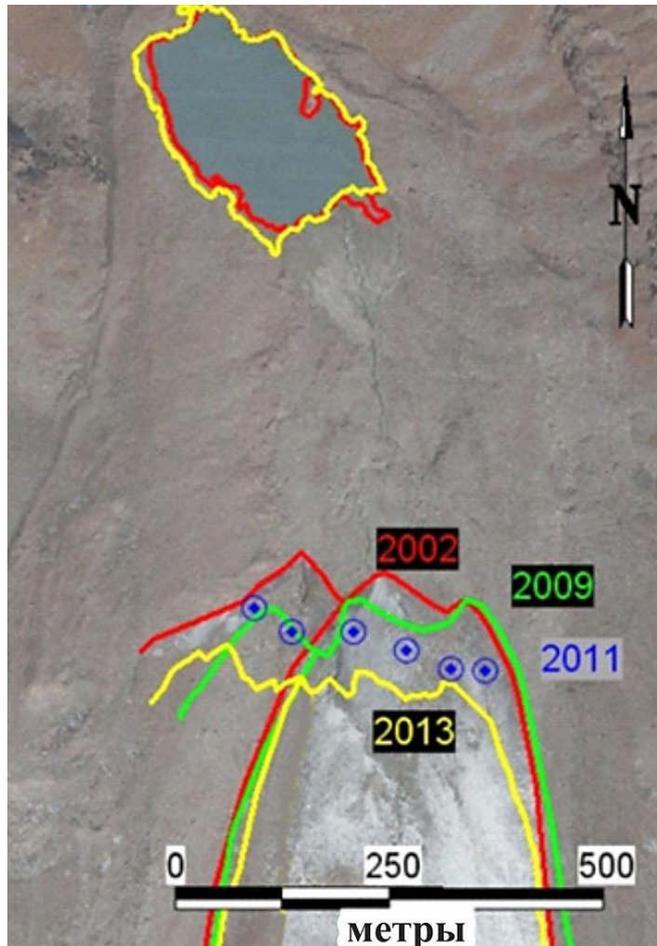


Рис. 2.2.5.7. Изменение позиции края языка ледника Карабаткак за 2002 - 2013 гг.

Наряду с исследованием отдельных эталонных ледников, было выполнено общее картографирование ледников Иссык-Кульского бассейна. Ледники бассейна, как и ледники Тянь-Шаня и всего мира являются объектами повышенного внимания из-за их деградации в настоящее время, что в свою очередь отражается на водных ресурсах, изменении ландшафта территории и т.д. Масштабное картографирование и описание ледников Иссык-Кульского бассейна проводилось дважды: Тянь-Шаньской физико-географической станцией с 1948 по 1973 гг. [3] и при Инвентаризации ледников Рендольфа (RGI): Всемирная база данных границ ледников под эгидой Всемирной инициативы измерений внутриконтинентальных льдов из космоса (GLIMS) 2012 г. [2]. При этом Инвентаризация ледников Рендольфа, являясь наиболее современной, выполнялась в автоматическом и полуавтоматическом режиме и имеет

ошибки в определении границ ледников. Кроме этого, данная инвентаризация не содержит описательной части. В связи с этим, при анализе современного состояния ледников бассейна, за основу были взяты космические изображения спутника Landsat 8 и данные по ледникам из Каталога ледников СССР.

Картографирование ледников проводилось с использованием комбинация каналов - 564, с увеличенным до 15 м с помощью 8-го панхроматического канала разрешением (рис. 2.2.5.8). Границы водоразделов при этом определялись с помощью ЦМР GDEM2.

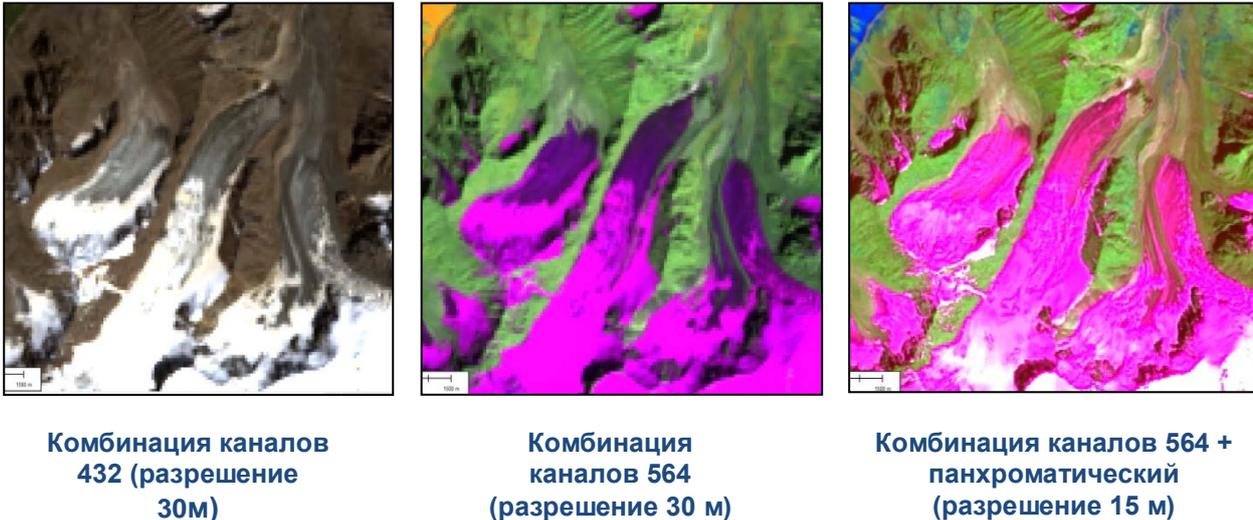


Рис. 2.2.5.8. Комбинирование каналов и улучшение разрешения снимков с целью более точного картографирования границ ледников.

Наибольшие трудности в процессе картографирования ледников возникли при попытках определить границы в языковой части ледника покрытой относительно толстым слоем моренного терригенного материала. При этом были использованы различные методы обработки изображений, комбинации каналов, в частности, использовался термальный канал. Но возможности дешифрирования оказались ограниченными, поэтому достаточно точное определение границ выполнено для случаев покрытия языка ледника относительно тонким слоем морены, позволяющим определить границу распространения льда.

Картографирование ледников Иссык-Кульского бассейна выявило ряд несоответствий морфометрических параметров ледников определенных по спутниковым изображениям и параметров занесенных в Каталог ледников СССР, и если для таких характеристик как длина или площадь ледника это вполне закономерно, то несоответствия в таких параметрах, как наибольшая высота вызывает ряд вопросов к точности ее определения как при составлении Каталога ледников, так и при построении ЦМР. Кроме того, выявлен ряд несоответствий в самом Каталоге ледников, относящихся как к экспозиции, так и к их морфометрическим характеристикам. Например, ледник № 486 на схеме в Каталоге ледников показан с

четкой восточной экспозицией, однако в его описании далее в каталоге экспозиция обозначена как северо-запад.

Тем не менее, данная работа не предусматривала поиск ошибок в Каталоге ледников, поэтому все данные из каталога заносились в базу данных без изменений. Кроме этого в базу данных были включены поля для записи современных (лето 2013 г.) значений морфометрических параметров ледников, которые достаточно надежно могут быть определены при дешифрировании спутниковых изображений «Landsat» и по данным ASTER ЦМР: длина ледника, его площадь, минимальная и максимальная высоты, географические координаты центра объекта.

Результаты сравнения площадей ледников (площадью более 0,1 км²), взятых из каталога и дешифрированных по спутниковым изображениям «Landsat 8» представлены в таблице 2.2.5.2.

Таб. 2.2.5.2. Сравнение площадей ледников (более 0,1 км²) взятых из Каталога ледников СССР(1976 г.) и полученных в результате дешифрирования спутниковых изображений «Landsat 8» (2013 г.)

бассейн реки	количество ледников по каталогу	количество ледников по спутниковым снимкам Landsat 8	площадь всех ледников по каталогу, км ²	площадь открытых частей ледников по каталогу, км ²	площадь ледников по спутниковым снимкам Landsat 8, км ²
северный склон хр. Терскей-Алатау	481	599	496,7	449,6	510,7
южный склон хр. Кунгей-Алатау	150	158	139,7	135,7	114,0
весь бассейн озера Иссык-Куль	631	757	636,4	585,3	624,7

Из таблицы 2.2.5.2 видно, что количество ледников (площадью > 0,1 км²) определенных по результатам дешифрирования спутниковых изображений «Landsat 8» превышает количество ледников занесенных в Каталог ледников СССР на 118 для северного склона хр. Терскей-Алатау, на 8 для южного склона хр. Кунгей-Алатау и на 126 для всего бассейна озера Иссык-Куль. При этом следует отметить, что на фоне общего увеличения количества ледников определенных по спутниковым изображениям по сравнению с количеством ледников, занесенным в Каталог, отмечается исчезновение некоторых из них на спутниковых снимках. Такая картина во

многим связана с самим ограничивающим площадь параметром ($> 0,1 \text{ км}^2$). То есть, ледники, которые не определены в настоящее время по спутниковым снимкам, не исчезли совсем, но их площадь стала менее $0,1 \text{ км}^2$ (например $0,092 \text{ км}^2$), это конечно же относится к тем ледникам, площадь которых по каталогу была около $0,1 \text{ км}^2$. В свою очередь ледники, площадь которых была несколько менее $0,1 \text{ км}^2$, могли быть не занесены в каталог, а небольшое увеличение их площади в настоящее время дало основание для занесения их в новую формируемую базу данных. Это не означает, что при составлении каталога этих ледников не было совсем.

Площадь ледников по результатам дешифрирования спутниковых снимков превышает таковую по Каталогу ледников СССР для Терской-Алатау и меньше для Кунгей-Алатау. В целом же для всего бассейна озера Иссык-Куль площадь ледников, определенная по спутниковым изображениям, меньше площади ледников по Каталогу, но больше площади ледников, которая оценена в Каталоге как "открытые, не покрытые мореной части" ледника. Здесь следует отметить, что в данной работе производилось картографирование как открытых частей ледников, так и частей покрытых небольшим слоем терригенного моренного материала. Выявление же погребенного льда под большой толщей моренного материала - достаточно сложная задача даже при проведении полевых исследований. Поэтому в данной работе более подходящим определением для конечной языковой части ледника, нижняя граница которой определялась при дешифрировании, будет «активная часть ледника», в противоположность пассивной, слабо связанной или не связанной с основным ледовым телом, представленной погребенным под конечной мореной льдом.

В целом, как видно из приведенного выше анализа, при общей продолжающейся тенденции сокращения размеров ледников Тянь-Шаня, безусловно, обусловленной повышением среднегодовых температур приземного слоя воздуха, наблюдается и неравномерность скорости отступления ледников. Эта неравномерность проявляется как у всех ледников, в зависимости от условий расположения на склоне хребта и всех сопутствующих факторов его функционирования, так и для каждого отдельного ледника в зависимости от особенностей его индивидуального развития.

Литература:

- <http://www.cawa-project.net/>
- WGMS 2013. *Glacier Mass Balance Bulletin No. 12 (2010–2011)*. Zemp, M., Nussbaumer, S. U., Naegeli, K., Gärtner-Roer, I., Paul, F., Hoelzle, M., and Haeberli, W. (eds.), ICSU(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/WMO, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, 106 pp., publication based on database version: doi:10.5904/wgms-fog-2013-11.

- *Режим ледника Абрамова / Г. Е. Глазырин, Г. М. Камнянский, Ф. И. Перцигер ; Среднеаз. регион. н.-и. гидрометеорол. ин-т им. В. А. Бугаева, 228 с. ил. 20 см, СПб. Гидрометеоиздат 1993*

2.3. Исследование изменения режима рек, озер, водохранилищ и подземных вод

На территории Кыргызстана насчитывается более 25 тысяч рек, которые относятся к восьми основным гидрологическим бассейнам: оз. Иссык-Куль, р. Чу, р. Талас, р. Сырдарья, р. Амударья, оз. Чатыр-Куль, р. Тарим и оз. Балхаш. Основной водной артерией Республики является р. Нарын, водосборная площадь которой составляет 53 тыс. км², или около 25 % площади Республики. Эта река имеет огромное значение как в целях питьевого водоснабжения, так и для ирригационных, гидроэнергетических и других нужд.

Из наиболее значимых работ ЦАИИЗ в этом направлении следует отметить: прогноз притока воды в Токтогульское водохранилище на вегетационный период; изменение многолетних климатических характеристик и стока в верховьях реки Нарын в вегетационный период, изменение годового стока рек Иссык-Кульского бассейна за многолетний период.

2.3.1. Прогноз притока воды в Токтогульское водохранилище на вегетационный период

Рассматриваемая территория в физико-географическом отношении принадлежит к Среднеазиатской горной стране, Внутренне-Тянь-Шанской провинции. Это обширный горно-котловинный регион замкнутого характера. Средняя абсолютная высота составляет 3100 м. Около 92% ее территории лежит в бассейне реки Нарын. Общими для территории является широтное или близкое к нему простираение горных хребтов с межгорными котловинами и долинами.

Климат резко континентальный, засушливый. В течение года более продолжителен холодный период. Перечисленные общие черты влияют на характер формирования и географического распределения стока рек Нарынского бассейна, который является ресурсообразующим регионом как для поверхностных, так и для подземных вод. В бассейне реки Нарын находятся многочисленные водопотребители, главным из которых является Токтогульская ГЭС, для которой прогноз притока воды в водохранилище является основным условием для разработки режима работы каскада водохранилищ.

Река Нарын принадлежит к бассейну Аральского моря, являясь крупнейшим притоком реки Сырдарья. Водосборная площадь бассейна реки Нарын составляет около 58 000 км², высотные отметки водосборного бассейна изменяются в пределах 0,7 – 5,0 км.

В таблице 2.3.1.1 приведены основные физико-географические и гидрологические характеристики реки Нарын в створе Учтерек (входящего основного створа) и трех боковых притоков Токтогульского водохранилища.

Для прогноза на вегетационный период (апрель-сентябрь) притока воды в Токтогульское водохранилище использовалась метеорологическая информация с 7-и метеостанций и метеопостов за период с 1967 по 2011гг., находящихся на различных высотах и экспозициях склонов в бассейнах основных притоков реки Нарын. Сведения о них приведены в таблице 2.3.1.2.

Таблица 2.3.1.1. Основные физико-географические и гидрологические характеристики реки Нарын и боковых притоков в Токтогульское водохранилище

Река- створ	Длина реки от истока до устья (км)	Площадь водосбора км ²	Средне-взвешен. высота водосбора, м	Период наблюдений за стоком, годы	Норма стока м ³ /с	Тип питания реки
Нарын- Учтерек	578	52 000	2 890	1963-2011	324	снегово-ледниковый
Узунакмат- устье р.Уста Сай	73	1 790	2 360	1930-2010	28,7	снегово-ледниковый
Чычкан – устье р.Бала Чычкан	61	903	2 890	1938-2009	17,5	снегово-ледниковый
Торкент- кишл.Торкент	45	654	2 420	1966-1997	10,3	снегово-ледниковый

Таблица 2.3.1.2. Сведения о метеостанциях (метеопостах) бассейна реки Нарын

№	Название метеостанции	Бассейн реки	Высота, м.н.у.м.
1.	Тянь Шань	верховья р.Большой Нарын	3614
2.	Нарын	верховья р.Нарын	2039
3.	Атбашы	р.Ат Башы	2025
4.	Баетово	р.Терек	1960
5.	Итагар	р.Чычкан	2011
6.	Суусамыр	р.Суусамыр	2061
7.	Чаяк	р.Джумгал	1642

На рис. 2.3.1.1 представлен годовой ход осадков по этим метеостанциям и метеопостам.

Как видно из рис 2.3.1.1 графики годового хода осадков во многом аналогичны друг другу. Максимум выпадения осадков приходится на май-июнь, на высокогорной метеостанции Тянь Шань – на июнь-август. Минимумы выпадения осадков отмечаются в течение холодного периода - с сентября по февраль, на метеостанции Тянь Шань – с октября по февраль.

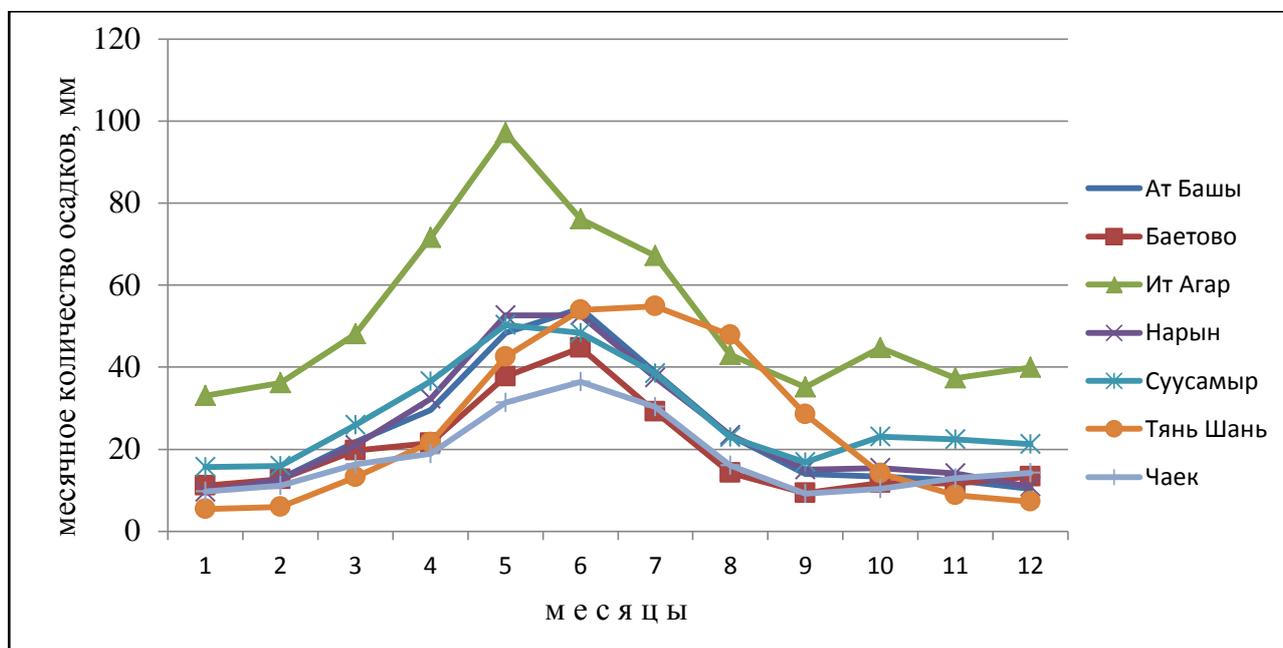


Рис. 2.3.1.1 Годовой ход осадков по многолетним данным.

Следует также отметить то, что в силу орографии и ориентированности к влагонесущим потокам на метеостанции Итагар, осадков выпадает больше, чем на остальных метеостанциях.

Внутригодовое распределение стока в первую очередь зависит от изменения в течение года осадков и температуры воздуха, а, следовательно, и испарения. Внутригодовое распределение стока реки Нарын – в створе Учтерек, притока воды в Токтогульское водохранилище и боковой приточности в Токтогульское водохранилище – рек Чычкан, Узунакмат и Торкент приведено на рис. 2.3.1.2 и 2.3.1.3. Приток воды в Токтогульское водохранилище рассчитывался как сумма основного входящего створа в водохранилище – створ Учтерек и трех боковых притоков в водохранилище: Узунакмат, Чычкан и Торкент. Начиная с 1993г., когда селевым паводком был разрушен гидропост Торкент, при расчете использовался 0,6*Чычкан.

Как видно из рис. 2.3.1.2 и 2.3.1.3, все реки – боковой приточности имеют максимум своих расходов в период с мая по июнь, на реке Нарын–створ Учтерек – по август. Наибольшие значения расходов воды отмечаются на всех реках в июне. Максимальные расходы для реки Нарын - створ Учтерек достигают 2 400 м³/с (в 1966г.), на реке Чычкан – 141 м³/с (в 2002г.), на реке Узунакмат – 203 м³/с (в 1934г.),

на реке Торкент – 177 м³/с (в 1968г.). Меженный период для всех рек можно определить с октября (по боковым притокам в Токтогульское вдхр.), с ноября (по створу Учтерек) по март.

Также необходимо отметить, что в течение всего года среднемесячные расходы на реке Нарын – створ Учтерек значительно превышают аналогичные расходы на остальных реках, что объясняется тем, что площадь водосбора реки Нарын гораздо больше, чем у других изучаемых рек.

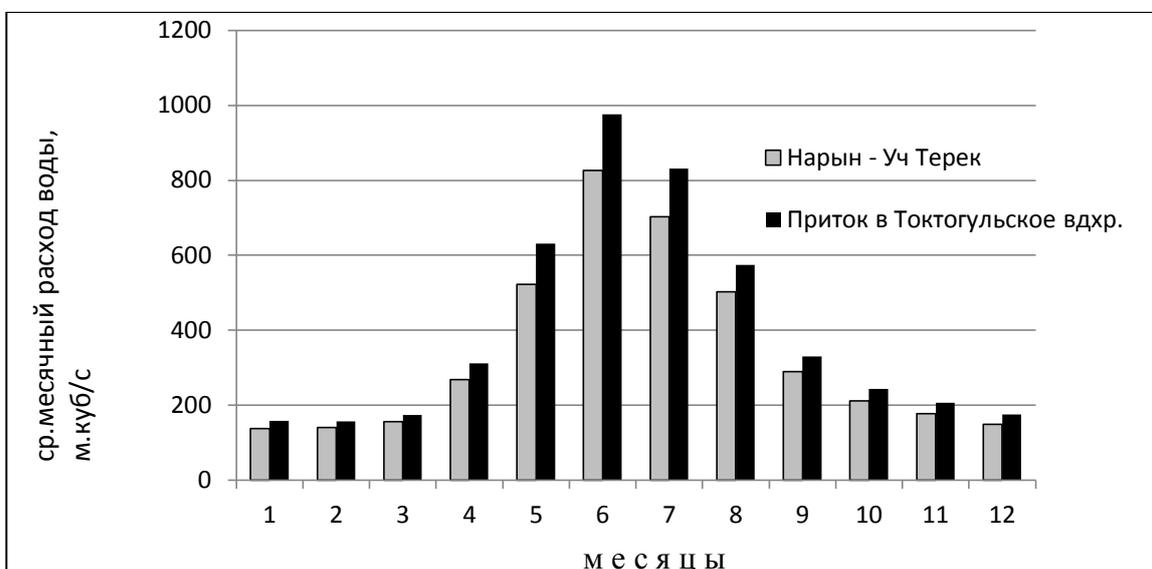


Рис. 2.3.1.2 Внутригодовое распределение стока реки Нарын – створ Учтерек и притока воды в Токтогульское водохранилище.

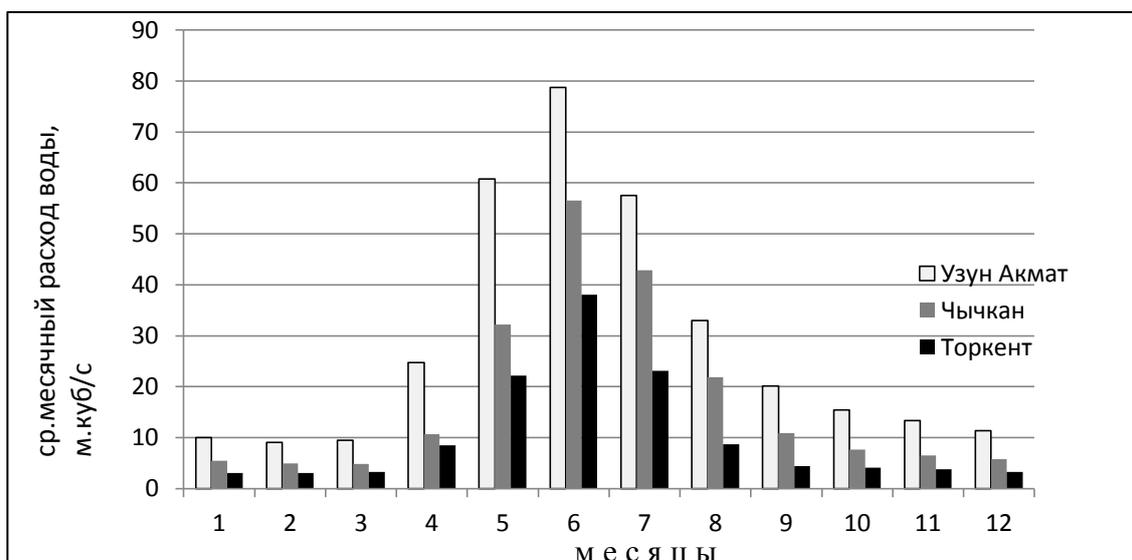


Рис. 2.3.1.3 Внутригодовое распределение стока рек – боковых притоков в Токтогульское водохранилище.

Основным источником питания анализируемых рек являются талые воды и в первую очередь талые воды сезонных снегов (занимают по около 40% от общего питания

реки Нарын [6]). В питании значительной части рек с высокогорными водосборами существенную роль играют талые воды "вечных" снегов и ледников. Дождевые воды в общем питании речного стока имеют достаточно небольшое значение. В питании так называемого "базисного стока" и меженного стока значительное участие принимают подземные воды (около 40% от общего питания реки Нарын [6]). Соотношение отдельных источников питания в общем стоке рек изменяется в широких пределах в зависимости от особенностей формирования стока, которые определяются главным образом вертикальной поясностью и гипсометрическими характеристиками бассейнов рек и в меньшей степени их географическим положением. На рассматриваемых реках максимальный сток отмечается в июне (для рек снегово-ледникового питания). Поэтому в выборе метода прогноза в первую очередь руководствуются именно этим факторами.

Основным источником накопления влаги являются осадки в виде снега или дождя. Запасы воды, накопленные в виде снега, как правило, связаны с продолжительностью снегонакопления, то есть с продолжительностью холодного периода.

В практике гидрологического прогнозирования широкое распространение получили физико-статистические методы. Общей теоретической основой для разработки долгосрочных прогнозов стока рек является уравнение водного баланса речного бассейна [9]. В общем виде уравнение водного баланса для горных рек за весенне-летний период может быть представлено следующим образом [6]:

$$Y_0 = \sum_{i=1}^n S_i f_i + \sum_{i=1}^n X_1 i f_i + \sum_{i=1}^n X_2 i f_i + \sum_{i=1}^n h_T f_{st} - \sum_{i=1}^n E_c i f_i - \sum_{i=1}^n E_n i f_i - \sum_{i=1}^n E_d f_i \pm \Delta_{ep} \pm \Delta_n \pm \Delta_B, \quad (1)$$

где Y_0 - сток реки за период вегетации (включая базисный);

S_i - запас воды в снежном покрове i -й высотной зоны перед началом снеготаяния;

i - номер высотной зоны;

X_1 - количество осадков за время снеготаяния на поверхность снега;

X_2 - количество осадков от момента схода снега до окончания расчетного периода;

h_T - слой стаивания ледников и вечных снегов на площади, освободившейся от сезонного снега;

E_c - испарение со снега за вычетом конденсации;

E_n - испарение с почвы;

E_d - испарение влаги, задержанной кроной леса и транспирация;

f_i - площади высотных зон;

e_p - изменение запасов грунтовых вод, расположенных выше слоев, обуславливающих базисный сток;

B - изменение запасов влаги, впитанной почвой и грунтами;

n - изменение запасов в слоях, обуславливающих базисный сток;

f_l - площади ледников и снежников.

Но, к моменту выпуска прогноза, многие члены уравнения измерить или получить путем расчета невозможно. Поэтому при разработке практических методов прогноза сезонного стока уравнение водного баланса заменяют другим приближенным уравнением, в которое входят только основные факторы:

$$Q_t = f(S_t + X_1), Q_t = f(X_m), Q_t = f(S_t, Q_m, m^{\circ}), \quad (2)$$

где Q_t - расход воды за период времени t ;

m° - температура за предшествующий период, продолжительность которого m ;

Q_m - расход воды за предшествующий период той же продолжительности m ;

S_t - запасы воды в снежном покрове к моменту составления прогноза t ;

X_m - осадки за период, предшествующий составлению прогноза.

Но, к моменту выпуска прогноза, многие члены уравнения измерить или получить путем расчета невозможно. Поэтому при разработке практических методов прогноза сезонного стока уравнение водного баланса заменяют другим приближенным уравнением, в которое входят только основные факторы.

В отличие от многих авторов, считающих, что только твердые осадки формируют весенне-летний сток, Гирник установила, что не обязательно устанавливать для каждого бассейна и каждого года свои сроки начала и окончания суммирования осадков, выпадающих в твердом виде. Она считает, что в качестве предиктора для составления прогноза на вегетацию достаточно брать календарный период с 1 октября по 31 марта [4].

Кроме вклада в сток осадков в жидком эквиваленте (в мм), в множественной регрессии был учтен меженный (базисный), что значительно улучшило тесноту корреляционной зависимости с притоком воды в Токтогульское водохранилище на вегетационный период (апрель-сентябрь).

Был произведен анализ физико-статистическими методами прогнозирования водности рек, при этом предполагалось, что на сток рек в вегетационный период влияют не только осадки, выпавшие за холодный период, но и меженный сток. Для этого составлялись линейные корреляционные зависимости и рассчитывались уравнения связи средней суммы осадков за холодный период в модульных коэффициентах по 7-и метеостанциям, находящимся в бассейне реки Нарын с притоком воды в Тотогульское вдхр. за вегетационный период. Был применен также метод множественной регрессии, в которой в качестве второго предиктора использовался меженный сток притока воды в Токтогульское вдхр.

В результате работы были получены следующие уравнения для расчета притока воды в Токтогульское водохранилище на вегетационный период:

- $Q_{\text{ср.veg.}} = 385,7 \cdot (\text{Тянь Шань} + \text{Нарын} + \text{Итагар} + \text{Суусамыр} + \text{Баетово} + \text{Ат Башы} + \text{Чаек}) / 7 + 212,4 \quad R^2 = 0,66.$
- $Q_{\text{ср.veg.}} = 1,44 \cdot Q_{\text{межень}} + 362 \cdot (\text{Тянь Шань} + \text{Нарын} + \text{Итагар} + \text{Суусамыр} + \text{Баетово} + \text{Ат Башы} + \text{Чаек}) / 7 - 26,1 \quad R^2 = 0,75.$

Где $Q_{\text{ср.veg.}}$ – средний вегетационный расход воды, м³/с;

сумма осадков в модульных коэффициентах;

$Q_{\text{межень}}$ – средний расход воды за меженный период, м³/с

R^2 - коэффициент регрессии.

В результате выполненных исследований установлено следующее:

Основным источником питания рек Нарынского бассейна являются талые воды и в первую очередь талые воды сезонных снегов.

В питании меженного или так называемого "базисного стока" рек Нарынского бассейна значительное участие принимают подземные воды.

Общей теоретической основой для разработки долгосрочных прогнозов стока рек является уравнение водного баланса речного бассейна.

При разработке практических методов прогноза сезонного стока уравнение водного баланса заменяют другим приближенным уравнением, в которое входят только основные факторы. Для бассейна река Нарын таковыми являются осадки в водном эквиваленте, накопившиеся за предшествующий холодный период и сток за меженный период.

Был произведен анализ физико-статистическими методами прогнозирования водности рек и получены линейные корреляционные зависимости и регрессионные уравнения, которые могут быть использованы для определения притока воды в Токтогульское водохранилище на будущий вегетационный период (апрель-сентябрь).

Показатели тесноты корреляционных зависимостей достаточно высокие R^2 составляет 0,66 и 0,75.

Литература:

- Абальян Т.С. Методика прогноза объема стока за вегетационный период рек Северной Киргизии на участках с естественным режимом – Научный отчет. Главное Управление Гидрометеорологической Службы при Совете Министров СССР. Центральный институт прогнозов. М., 1956г.
- Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л., Гидрометеиздат, 1974.
- Атлас Киргизской ССР. ГУГК. М., 1987.
- Гирник Е.И. Долгосрочные прогнозы стока по рекам бассейна Сырдарьи в условиях искусственно - измененного их режима. Главное Управление Гидрометеорологической Службы при Совете Министров СССР. САРНИГМИ. Ташкент, 1971г.
- Калашникова О.Ю. К вопросу о гидрологических прогнозах весенне-летнего стока горных рек. «Метеорология и гидрология в Кыргызстане». КРСУ. Выпуск 3, Бишкек, 2003г.
- Маматканов Д.М., Бажанова Л.В., Романовский В.В. Водные ресурсы Кыргызстана на современном этапе//НАН КР. Институт водных проблем и гидроэнергетики. - Бишкек: Илим, 2006.- с.266.
- Мартинек Дж., РангоА., Робертц Р. Модель Талого Стока. Руководство для пользователей. Географический факультет. Бернский Университет, 1998г.
- Михайлов В.И., Петряшова Е.В., Смородская Н.С. К методике долгосрочных прогнозов стока горных рек Киргизии. // Особенности и методика расчета гидрометеорологических элементов Киргизии и их прогноз / Известия Киргизского географического общества, вып.15. – Фрунзе: Илим, 1983.
- Руководство по гидрометеорологическим прогнозам, выпуск 1.Л.:Гидрометеиздат,1989г.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 14. Средняя Азия, выпуск 2. Л.:Гидрометеиздат,1973г.
- Статистические методы прогноза стока горных рек. Труды САРНИГМИ. Л.:Гидрометеиздат,1977г.

2.3.2. Изменение многолетних климатических характеристик и стока в верховьях реки Нарын в вегетационный период.

Вегетационный период – период с апреля по сентябрь, является важной характеристикой режима реки в целях планирования использования водных ресурсов в гидроэнергетике и водном хозяйстве. Река Нарын – является основной гидроэнергетической и водохозяйственной артерией Кыргызстана и соседних республик (Узбекистана и Казахстана). В ближайшие годы планируется строительство каскадов ГЭС на реке Нарын и в ее верховьях, в связи с чем, изучение режима верховьев реки Нарын, в том числе на основе данных за последние годы становится особенно актуальным.

В данной работе исследование изменения гидрологических и климатических характеристик вегетационного стока верховьев реки Нарын проводилось за период

наблюдений с 1931 по 2012гг. В частности, гидрологического режима верховьев реки Нарын - по данным наблюдений гидропоста «р.Нарын – г.Нарын» (ГПНН); климатических характеристик - по данным метеостанций «Тянь-Шань» (высота 3614 м.), находящейся в гляциально-нивальной зоне и «Нарын» (высота 2040 м.), находящейся в нижнем течении рассматриваемого водосбора (Рис. 2.3.2.1). Принималось во внимание, что в 2000 г. местоположение метеостанции «Тянь-Шань» было немного изменено, поэтому проводился анализ данных метеостанции «Нарын», находящейся в этом бассейне. Несмотря на изменение местоположения, данные о температуре воздуха высокогорной метеостанции «Тянь-Шань» имели более тесные корреляционные зависимости со стоком ГПНН, т.к. высота метеостанции практически совпадает со средней высотой исследуемого водосбора (3570 м).



Рис. 2.3.2.1 Исследуемый бассейн верховьев реки Нарын до гидропоста р.Нарын – г.Нарын

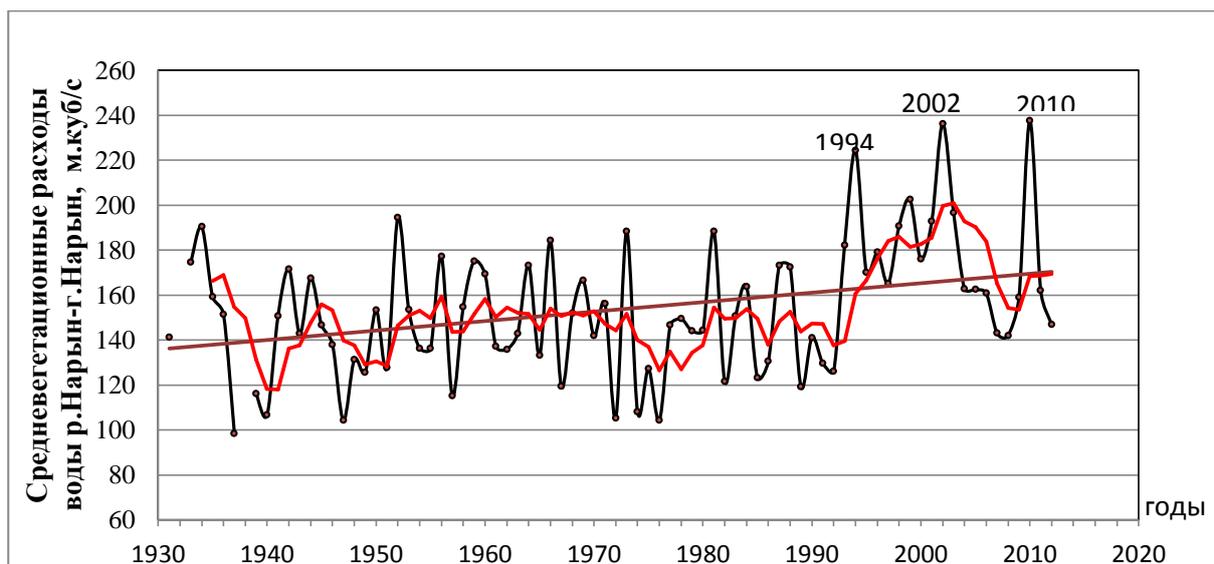


Рис. 2.3.2.2. Изменение расходов воды ГПНН за период с 1930 по 2012 гг.

С целью выявления особенностей стока верховьев реки Нарын за вегетационный период по данным ГПНН был построен тренд с пятилетними скользящими, на котором прослеживается увеличение средневегетационных расходов воды начиная с 1992г. (Рис. 2.3.2.2). На рисунке отмечены многоводные годы (1994, 2002, 2010 гг.), со значительным превышением – 153-162 % средних многолетних расходов воды за вегетационный период. Также по данным ГПНН была построена разностно-

интегральная кривая расходов воды [6] за вегетационный период, на которой также отчетливо выделяется период стабильного последовательного нарастания объемов воды с 1992 года по настоящее время (Рис. 2.3.2.3).

По расчетам, средневегетационный сток за период с 1992 по 2012 гг. составил 177 м³/с или 122 % от значений за период с 1931 по 1991 год, где он составил 145 м³/с.

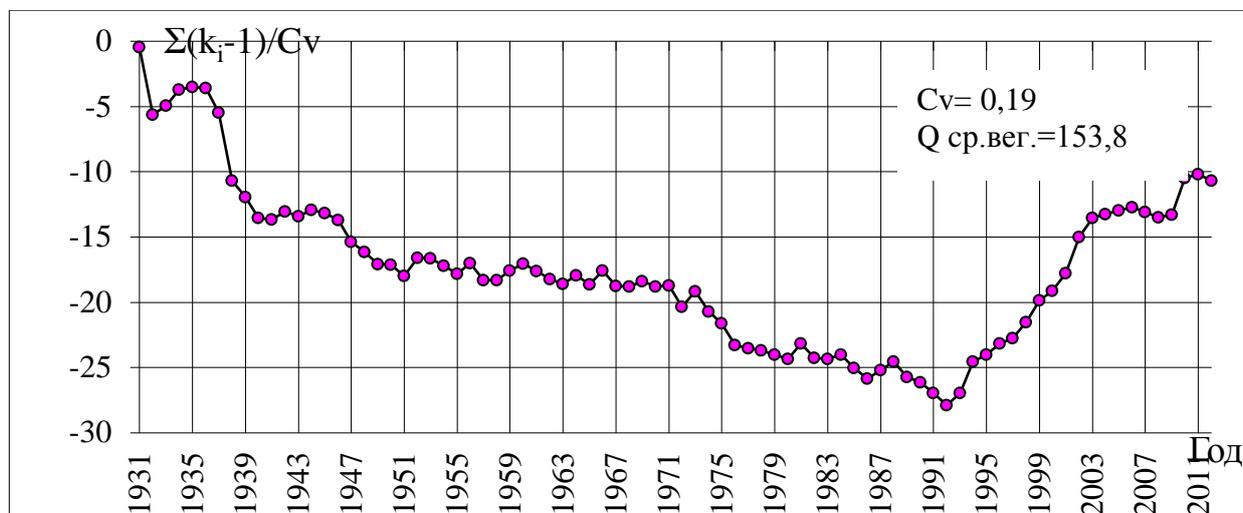


Рис. 2.3.2.3. Разностно-интегральная кривая расходов воды р. Нарын - г. Нарын (1931 - 2012 гг.)

Рассмотрим, структуру стока в вегетационный период и как изменилась доля месяцев вегетационного стока ГПНН с 1992 года. Верховье реки Нарын относится к рекам высокогорья с ледниково-снеговым питанием с максимумом половодья в июле – месяце с ледниковым питанием. Гидрограф реки многомодальный - первый пик половодья образуется от таяния сезонных снегов (апрель-июнь), последующие – от таяния ледников и высокогорных снегов (июль-сентябрь). В процентном соотношении водность реки Нарын (ГПНН) в период вегетации (половодья) распределяется следующим образом: 26 % стока приходится на июль, 23 % - на июнь и на август, 13 и 10 % приходится, соответственно, на май и на сентябрь, лишь 5 % стока - на апрель.

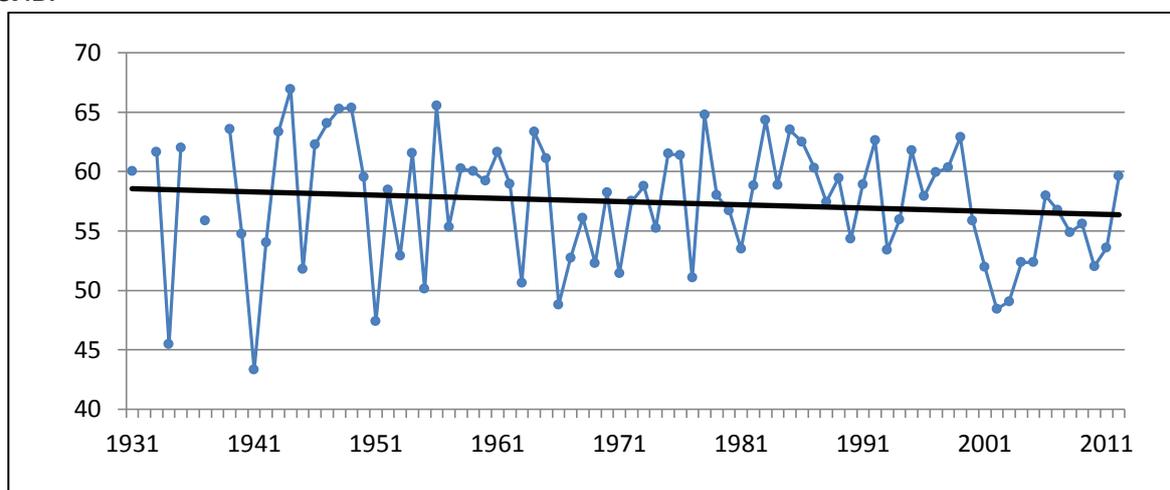


Рис. 2.3.2.4. Соотношение месяцев ледникового питания (июль-сентябрь) к месяцам с сезонно-снеговым питанием (апрель-июнь).

Как видно из рис. 2.3.2.4, составленного по рассчитанным данным ГПНН, наблюдается постепенное уменьшение доли месяцев ледникового питания в соотношении к месяцам с сезонно-снеговым питанием. Так, начиная с 1992 года, доля стока за июль в общем стоке за вегетационный период упала почти на 10 % (Рис. 2.3.2.5). Т.к. в июле питание реки происходит как за счет таяния сезонного снега, так и за счет таяния ледников, то это явление может быть связано с наблюдающейся деградацией оледенения и отступанием фирновой границы в верховьях реки Нарын, исследованием которых занимались Кузьмиченок В.А. и Диких А.Н [1,2]. Участие ледников в питании реки проявляется позже - в августе, в котором доля стока не изменилась и в сентябре, где она незначительно (около 1 %) увеличилась. Доля стока месяцев с питанием за счет сезонного снеготаяния, за период с апреля по июнь увеличивается. При такой тенденции, максимум половодья будет постепенно смещаться на более ранние сроки - с июля на май-июнь.

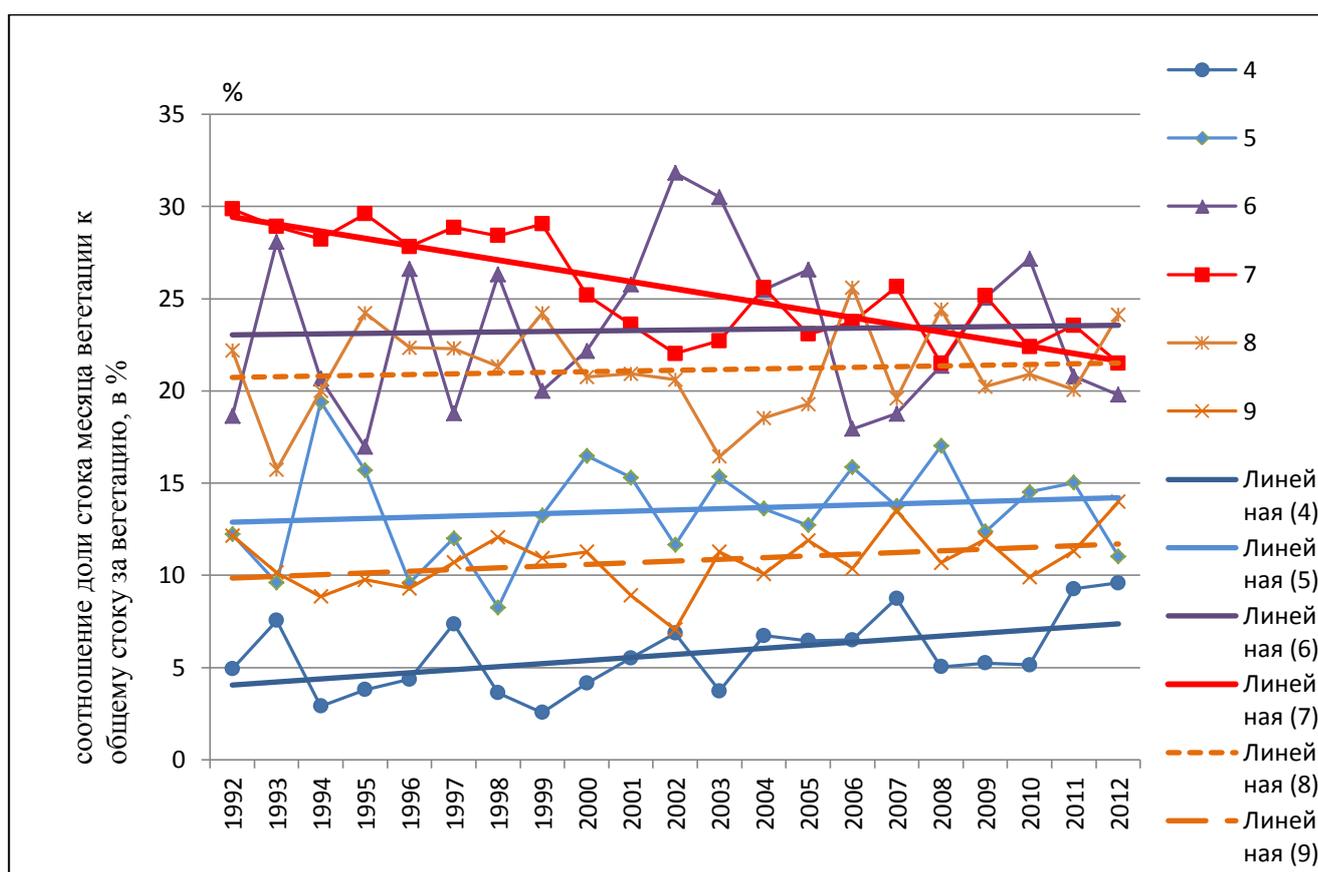


Рис. 2.3.2.5 Изменение доли стока месяцев вегетации (в процентах) в общем стоке за вегетационный период

Рассмотрим климатические факторы, влияющие на сток верховьев реки Нарын в вегетационный период.

Наиболее значительное влияние на сток верховьев реки Нарын в вегетационный период оказывает сезонное накопление снега за холодный период (октябрь-апрель) (Рис. 2.3.2.6), которое имеет тенденцию к увеличению значений (Рис. 2.3.2.7). На рис. 2.3.2.5 отмечены многоводные годы, в которые накопление сезонного снега составило

120-150% средних многолетних значений. С 1998 по 2012г.г. количество осадков, выпадающих в верховьях реки Нарын в период с октября по март, значительно увеличилось - по метеостанции Тянь-Шань на 40 мм и по метеостанции Нарын на 30 мм, что является одной из причин повышения стока верховьев реки Нарын (ГПНН). В противоположность мнению Диких А.Н., который в своей публикации в 1999 г. рассматривал тенденцию к уменьшению стока верховьев реки Нарын в связи с уменьшением осадков, выпадающих за холодный период года с 1930 по 1998 гг.

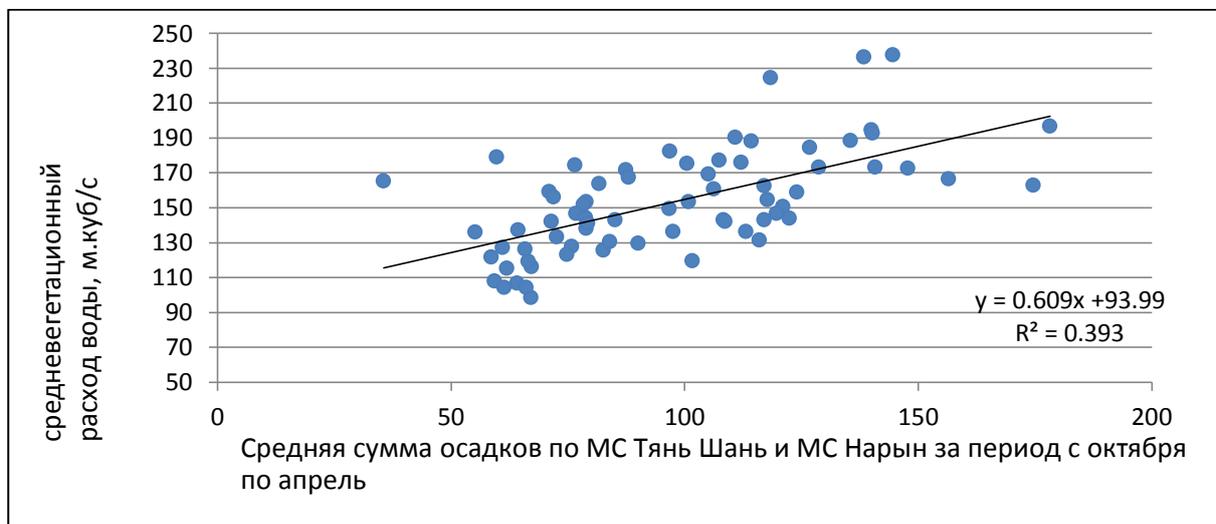


Рис. 2.3.2.6. Зависимость средневегетационных расходов воды р.Нарын-г.Нарын от средней суммы осадков по МС Тянь Шань и Нарын

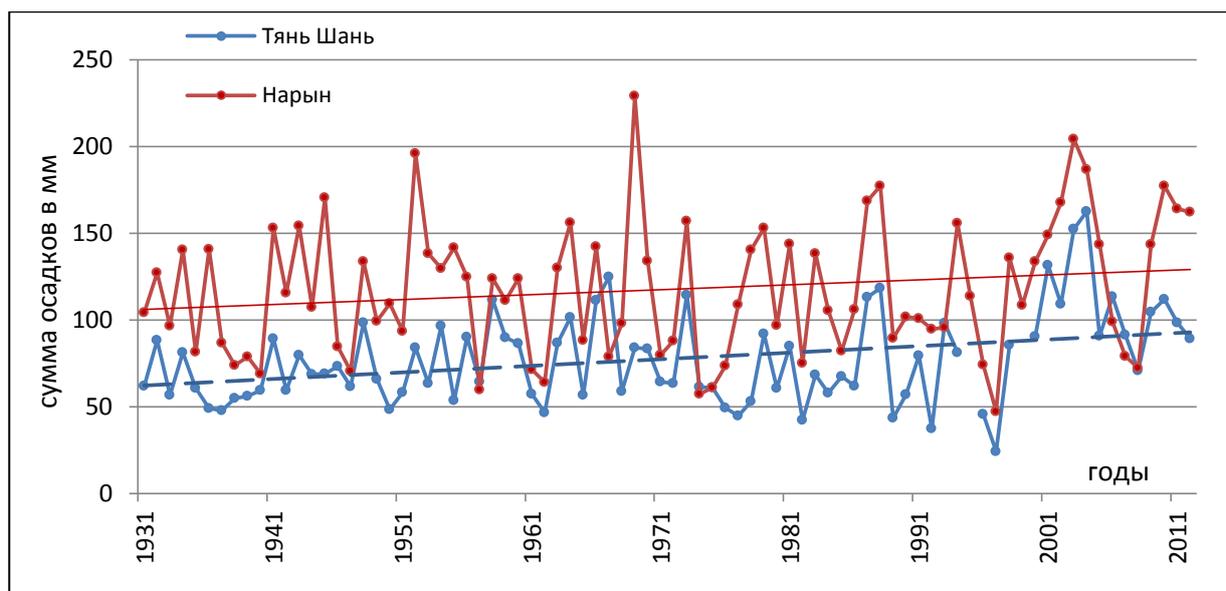


Рис. 2.3.2.7. Изменение суммы осадков (в мм) за период с октября по апрель по МС Тянь-Шань и Нарын.

На сток реки в вегетационный период влияют процессы таяния снега и ледников на водосборе, которые, в свою очередь, зависят от:

- суммы накопленных положительных температур воздуха (показатель, характеризующий количество тепла и выражающийся суммой средних суточных

температур воздуха превышающий определённый порог - 0 градусов), влияющих на интенсивность таяния снега и ледников в горах;

- продолжительности теплого периода - количества дней с положительными температурами воздуха;

- даты перехода положительных среднесуточных температур через 0°C, их отсчет производился от 1 января при наличии не менее трех дней с положительной температурой воздуха.

Расчет этих параметров представляет собой сложную задачу для высокогорной зоны, т.к. в течение теплого периода здесь наблюдаются частые понижения среднесуточной температуры до – 3 – 5°C, но необходим, т.к. они оказывают влияние на сток верховьев реки Нарын (ГПНН) в вегетационный период (Рис. 2.3.2.8).

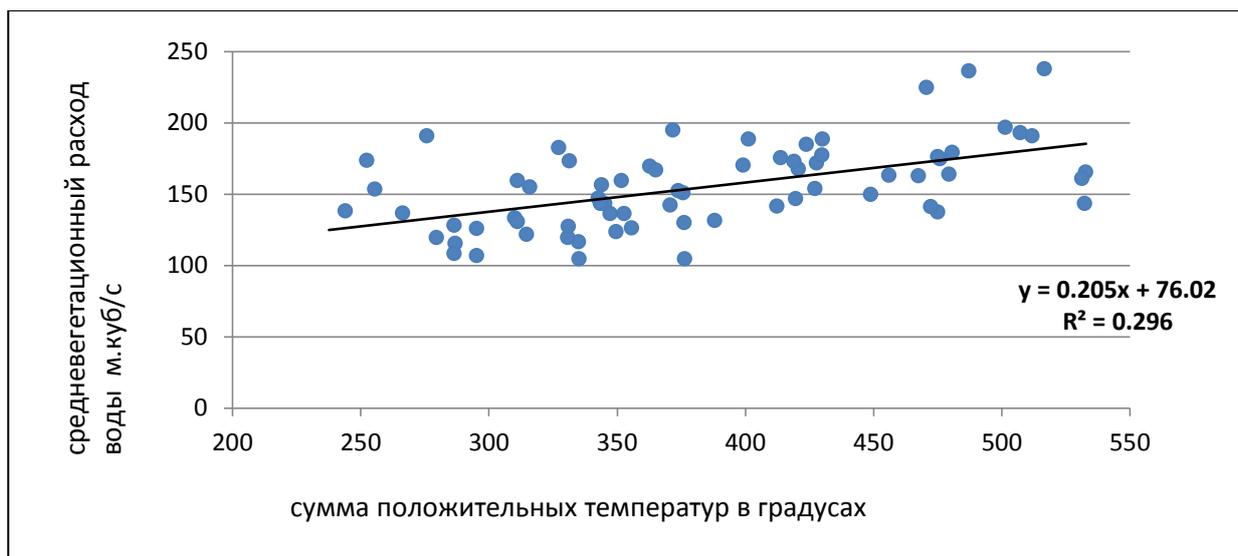


Рис. 2.3.2.8. Зависимость средневегетационного расхода воды ГПНН от суммы положительных температур по МС Тянь-Шань.

Анализ трендов по данным метеостанций Тянь-Шань и Нарын показал изменения климатических характеристик в верховьях реки Нарын за последние 20-40 лет.

Сумма положительных температур воздуха наиболее значительно повысилась за последние двадцать лет в высокогорной зоне и за последние сорок лет – в нижнем течении водосбора. Так, средняя сумма положительных температур по метеостанции Тянь-Шань повысилась с 349 до 482 °C, по метеостанции Нарын – с 2531 до 2867 °C, соответственно (Рис. 2.3.2.9).

Аналогично сумме, увеличилось и количество дней с положительными температурами. В высокогорной зоне - за последние 20 лет со 109 до 122 дней, в среднегорной зоне (нижнем течении водосбора) – за последние 40 лет с 220 до 236 дней, соответственно.

Анализ трендов перехода среднесуточной температуры через 0°C показывает, что наблюдается постепенный переход ее на более ранние сроки. За последние 10-20

лет на метеостанции Тянь-Шань – с середины мая-июня на апрель – май, на метеостанции Нарын – с апреля - второй половины марта на первую половину марта (Рис. 2.3.2.10).

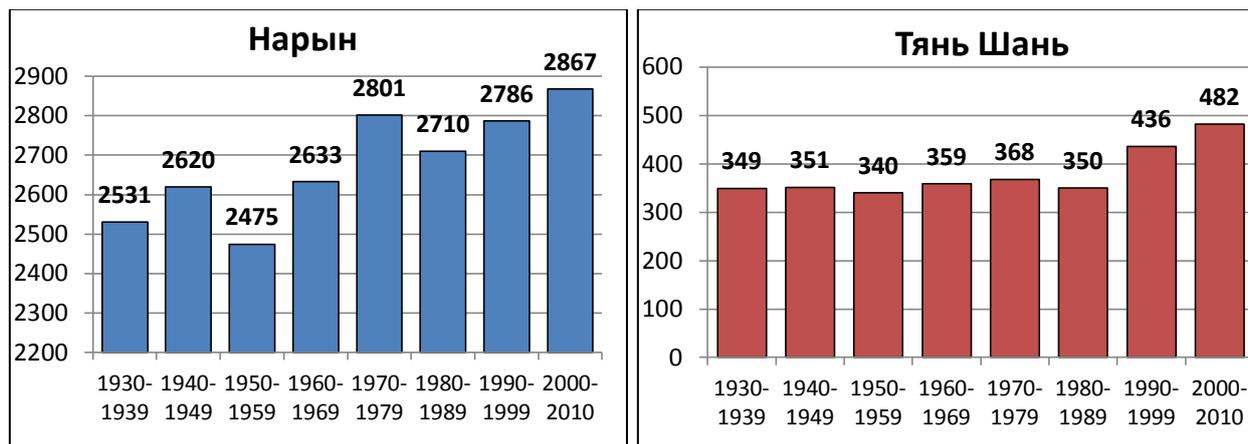


Рис. 2.3.2.9. Средняя по десятилетиям сумма положительных температур по метеостанциям Нарын и Тянь-Шань

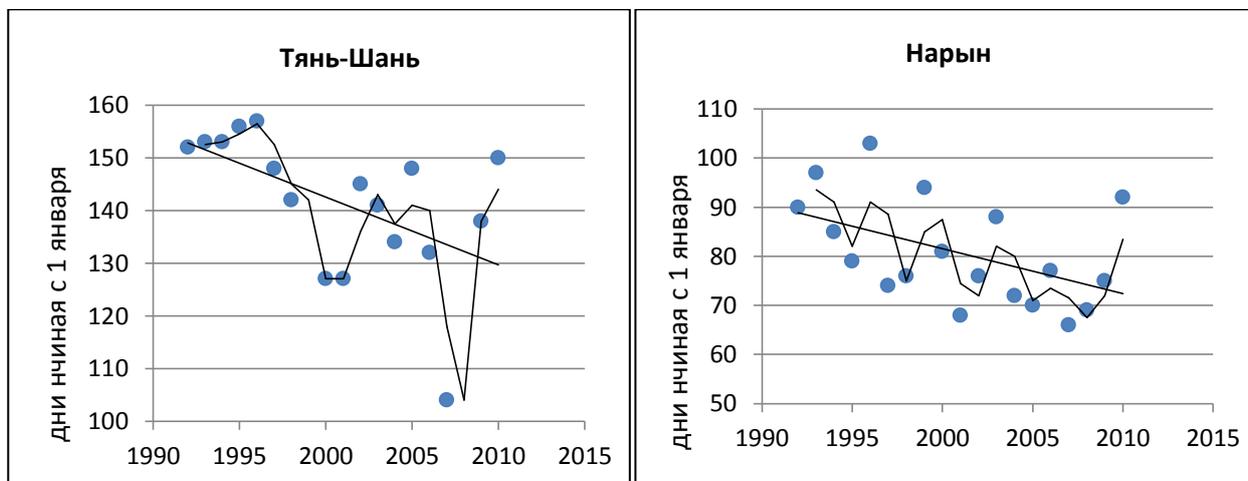


Рис. 2.3.2.10. Даты перехода положительных температур через 0°C по метеостанциям Тянь-Шань и Нарын за последние 20 лет

Проведенный в ходе исследований анализ тесноты корреляционной зависимости средних вегетационных расходов воды ГПНН и среднемесячной температуры воздуха по метеостанциям Нарын и Тянь-Шань показал, что наиболее тесная корреляционная связь стока ГПНН наблюдается с температурой воздуха за летний период по метеостанции Тянь-Шань. Что вполне объяснимо, т.к. основной сток в верховье реки Нарын в вегетационный период, 72%, приходится на летние месяцы. Температура воздуха в летние месяцы также имеет тенденцию к повышению. С 1930 по 2012 гг. температура воздуха за летний период, по данным метеостанции Тянь-Шань, повысилась на 1,2 °C (Рис. 2.3.2.11).

Кроме климатических параметров на сток в вегетационный период оказывает влияние предшествующий меженный сток (октябрь-март) (Рис. 2.3.2.12), который также повышается с 1992 года (Рис. 2.3.2.13). По расчетам, средний сток за меженный

период с 1992 по 2012 гг. составил 37,6 м³/с или 126 % от значений 1931-1991 гг., где он составил 29,9 м³/с.

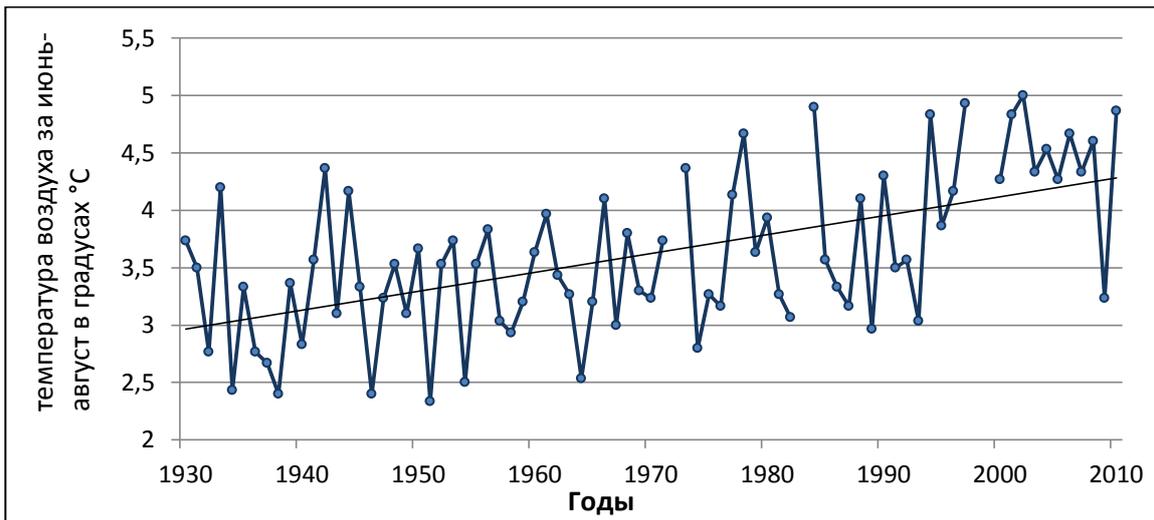


Рис. 2.3.2.11. Изменение средней температуры воздуха за июнь-август по метеостанции Тянь-Шань

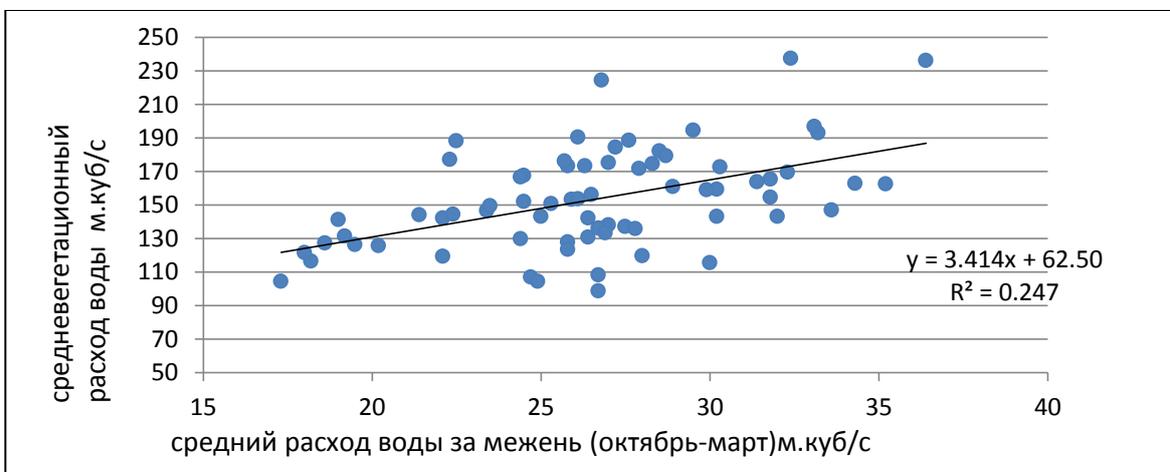


Рис. 2.3.2.12. Зависимость средних вегетационных расходов воды ГПНН от стока за период с октября по март ГПНН

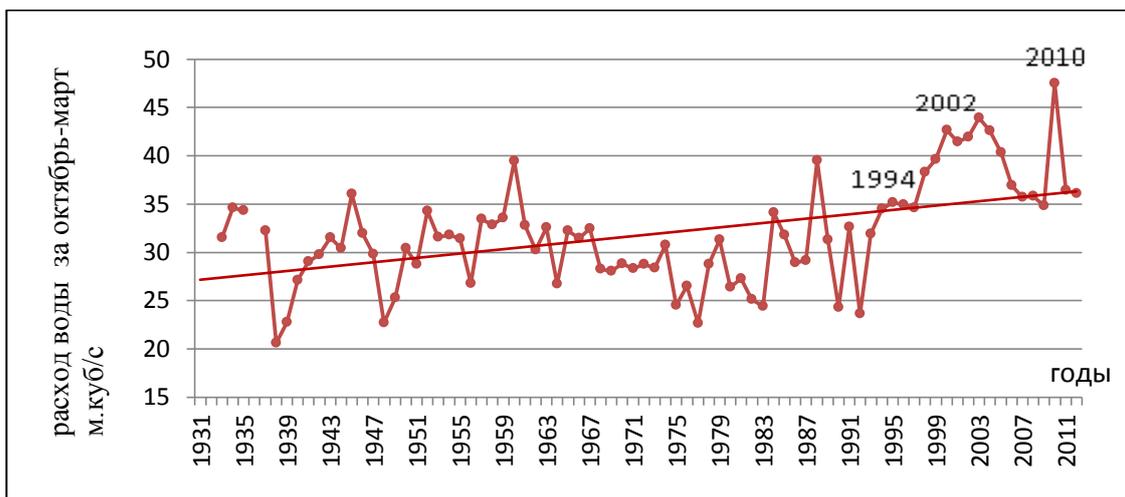


Рис. 2.3.2.13. Изменение расходов воды за меженный период ГПНН (м.куб/с).

Подведя итоги можно выявить три фактора(параметра), оказывающие влияние на сток верховьев реки Нарын (ГПНН) (Рис. 2.3.2.14):

- сумма осадков за предшествующий холодный период (октябрь-март),
- температура воздуха за летний период или сумма положительных температур воздуха;
- предшествующий меженный сток.

Все три параметра имеют тенденцию к повышению с 1992г. по настоящее время, в связи с чем в этот период наблюдается повышение стока в верховьях реки Нарын.



Рис. 2.3.2.14. Зависимость средних вегетационных расходов воды ГПНН от средней суммы осадков с октября по март по метеостанциям Тянь-Шань и Нарын + средняя температура воздуха за период с июня по август по МС Тянь-Шань + сток за период с октября по март ГПНН

Таким образом, начиная с 1992 года, по данным гидропоста р. Нарын - г. Нарын (ГПНН) наблюдается повышение стока верховьев реки Нарын. За вегетационный период с 1992 по 2012 гг. он составил 177 м³/с или 122 % от значений 1931-1991 гг., где он составил 145 м³/с.

Имея ледниково-снеговое питание (с максимумами половодья в июле-августе [4]), доля июля - месяца ледникового питания на ГПНН уменьшилась с 1992 по 2012 гг. почти на 10%. При росте доли месяцев питания за счет таяния сезонного снега (апрель, май и июнь), пик максимумов половодья будет постепенно смещаться на май-июнь.

Снижение доли стока в июле, начиная с 1992 года, связано с деградацией оледенения и отступанием фирновой границы.

Наиболее значительную роль в стокообразовании ГПНН за вегетационный период играет сумма осадков за холодный период года (октябрь-март) формирующая

сезонные снегозапасы, увеличившиеся с 1992 по 2012 гг. лет на 40 мм (по метеостанции Тянь-Шань) и на 30 мм (по метеостанции Нарын).

Сумма положительных температур воздуха, влияющая на интенсивность снеготаяния, повысилась за период наблюдений по метеостанции Тянь-Шань с 349 до 482 °С и по метеостанции Нарын – с 2531 до 2869 °С.

Количество дней с положительной температурой воздуха также увеличилось за период наблюдений по метеостанции Тянь-Шань со 109 до 122 дней и по метеостанции Нарын с 220 до 236 дней.

Даты перехода положительных температур воздуха через 0 °С сместились за последние 10-15 лет на более ранние сроки: на метеостанции Тянь-Шань – с середины мая – июня на апрель – май; на метеостанции Нарын – с апреля – второй половины марта на первую половину марта.

Наиболее тесные корреляционные зависимости температур воздуха и стока ГПНН за вегетационный период были получены с температурами метеостанции Тянь-Шань за летний период, которые также повысились за многолетний период наблюдений на 1,2 °С.

Перечисленные изменения основных климатических параметров совместно привели к повышению стока в верховьях реки Нарын за вегетационный период с 1992 по 2012 годы.

Расходы воды за меженный период (октябрь-март) повысились в соответствии со стоком за вегетацию. С 1992 по 2012 гг. они составили 37,6 м³/с или 126 % от значений 1931-1991 гг. (29,9 м³/с).

Литература:

- Диких А.Н. Ледниковый сток реки Нарын и сценарий возможного его изменения при потеплении климата//Изв. НАН КР. Проблемы геологии и географии в Кыргызстане. – Бишкек: Илим, 1999. – с.74-79
- Кузьмиченок В.А. Оледенение и сток в бассейне реки Нарын. Инвентаризация, временные изменения, прогноз.// Изучение факторов формирования и оценка влияния водохранилищ Нижне-Нарынского каскада ГЭС на качество водных ресурсов бассейна реки Нарын изотопными методами.МНТЦ НАН КРИВПуГЭ. Часть 1. – Бишкек, 2010г.– 19-39 с.
- Маматканов Д.М., Бажанова Л.В., Романовский В.В. Водные ресурсы Кыргызстана на современном этапе//НАН КР. Институт водных проблем и гидроэнергетики. - Бишкек: Илим, 2006.- с.266
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.14. Вып.1. Бассейн р.Сыр-Дарья./Под ред.И.А.Ильина. – Л.:Гидрометеоиздат,1969г. – 439с.
- Шульц В.Л. Реки Средней Азии. – Л.:Гидрометеоиздат, 1965. – 680с.

- Чеботарев А.И. *Гидрологический словарь*. – Л.:Гидрометеоиздат, 182 - 183с.

2.3.3. Изменение годового стока рек Иссык-Кульского бассейна за многолетний период

Целью исследования являлось выявление изменения годового стока рек за 80-летний период наблюдений и определение циклов и периодов изменения.

Исследование изменения гидрологических характеристик рек Иссык-Кульского бассейна проводилось на 23-х водотоках, имеющих естественный сток за период наблюдений с 1930 по 2011 годы по данным сети гидропостов Кыргызгидромета. Гидропосты размещены на высоте 1700 до 2100 м.н.у.м, на выходе из ущельев гор выше водозаборных сооружений (каналов и т.д.).

Особенности орографического строения Иссык-Кульской котловины определяют характер распределения осадков на ее территории. Пройдя Чуйскую долину, влажные западные и северо-западные воздушные массы теряют значительную часть влаги, поэтому западная часть побережья озера Иссык-Куль имеет полупустынный и сухой климат. Реки здесь имеют низкие среднегодовые значения стока от 1 до 3 м³/с. На восточном побережье озера Иссык-Куль выпадает значительно большее количество осадков, чем на западном. Насыщение влагой воздушных потоков происходит над теплым незамерзающим озером. Реки северо-восточного склона хребта Терскей Ала-Тоо имеют наибольшие среднегодовые значения стока – от 4 до 8 м³/с.

Согласно классификации В.Л. Шульца большинство исследуемых рек имеют ледниково-снеговое питание, за исключением рек Джыргалан – с.Советское, Тюп – с.Сары Тологой и Ой Тал – с.Ой Тал, которые имеют снегово-ледниковое питание [1,2].

В целях выявления периода изменения годового стока и изучения гидрологических циклов была построена корреляционная матрица и разностно-интегральные кривые [3] рек Иссык-Кульского бассейна.

По тесноте зависимости – значению парной корреляции (R_{ij}) и характеру изменения стока можно выделить три основные группы рек:

1 группа (Рис. 2.3.3.1): р.Чон Кызыл Суу – лесной кордон, р.Ак Суу – с.Теплоключенка, р.Джуукуу – устье р.Джуукучак, р.Чон Джаргылчак – пос.лесозавода, р.Тон – с.Туура Суу, р.Чон Кой Суу – с.Сары Ой, р.Чолпон Ата – свх.Чолпон Ата, р.Ак Суу – с.Семеновка, р.Ак Сай – с.Кеок Сай, р.Джеты Огуз – пос.лесозавода, р.Барскоон – устье р. Сасык, р.Ой Тал – с.Ой Тал. Несмотря на различное географическое положение водосборов этих рек, они имеют коэффициенты парной корреляции 0,57-0,72, что указывает на синхронность колебаний и схожие гидрологические циклы. Эта группа характеризуется устойчивой тенденцией к повышению стока. На большинстве рек оно отмечается с 1990-х годов, на отдельных реках Тон, Джеты Огуз, Джууку и Ак Суу (с.Семеновка) оно началось раньше - с 1980-х годов, на реке Барскоон – с 1970-х годов. Среднегодовые расходы воды на этих реках за период с 1992 по 2011 гг.

значительно повысились и составили 107-171% от значений за период с 1930 по 1991гг (Рис. 2.3.3.2). Не изменился за эти периоды лишь сток на реке Барскоон, но река была отнесена к первой группе из-за устойчивого подъема стока и теснотой парных коэффициентов корреляций.

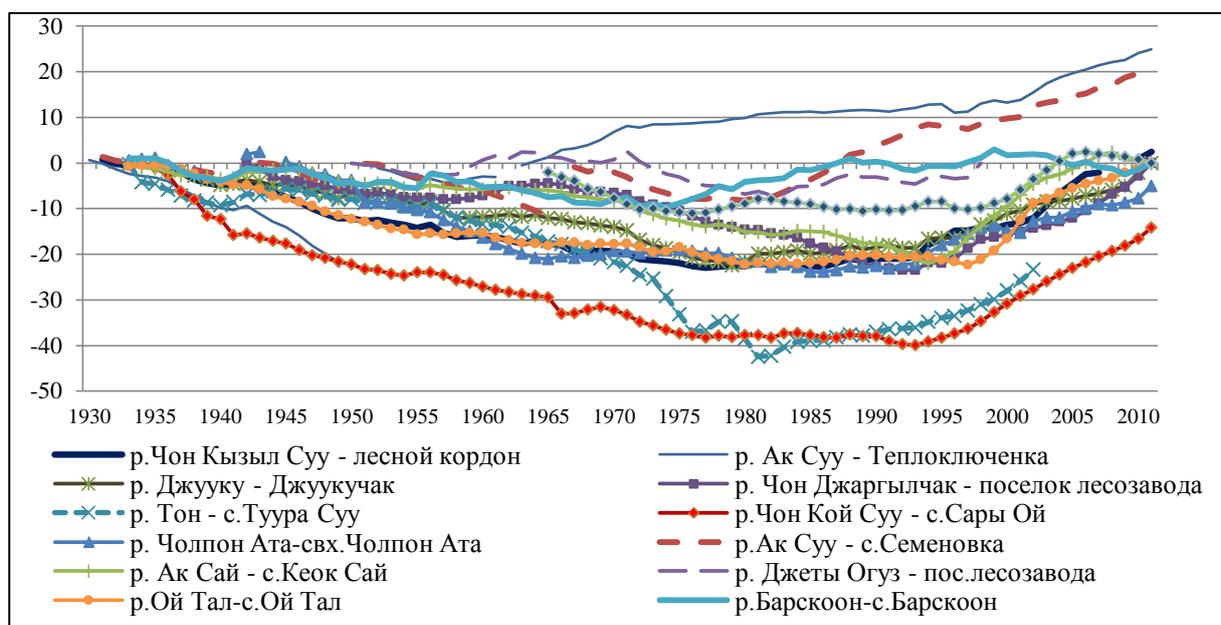


Рис. 2.3.3.1. Разностно-интегральные кривые среднегодового стока 1 группы рек

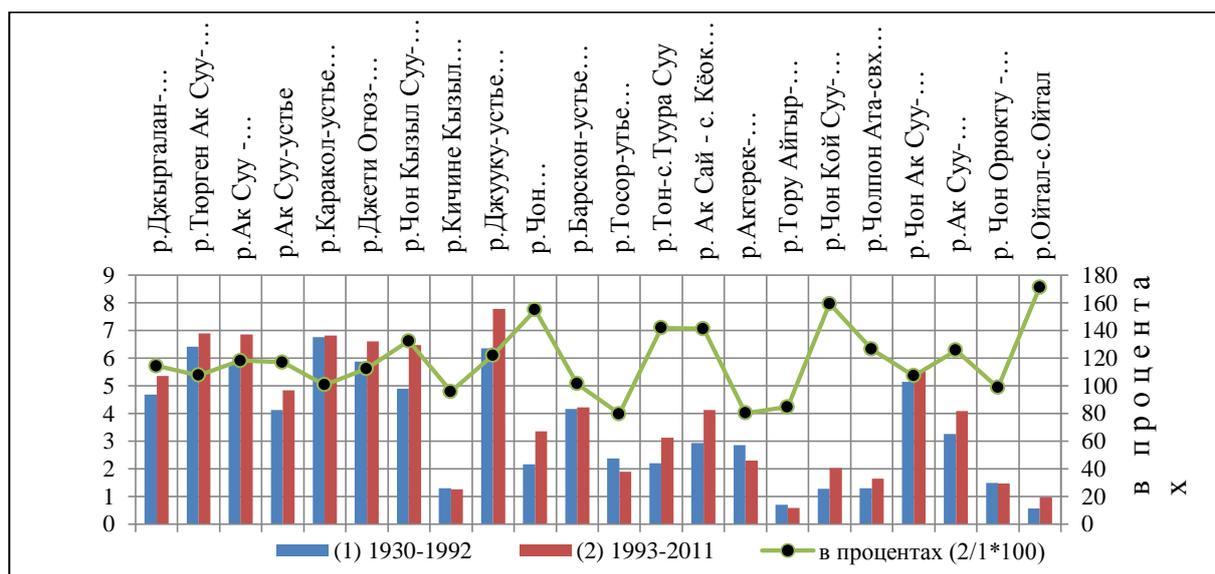


Рис. 2.3.3.2. Среднегодовые расходы воды и процентное соотношение стока за периоды 1992-2011 гг. и 1930-1991 гг.

2 группа (Рис. 2.3.3.3): Эта группа рек восточного побережья оз. Иссык-Куль с влажным климатом, имеющие в основном снегово-ледниковое питание – р. Джыргалан – с. Советское, р. Тюп – с. Сары Тологой и ледниково-снегового питания – р. Тургень Ак Суу – поселок лесозавода, р. Каракол – устье р. Кашка Суу и, имеющие парные коэффициенты корреляций 0,59-0,77. Сток рек за периоды с 1992 по 2011гг. и с 1930 по 1991гг. повысился незначительно – на 1 – 14% (см. рис. 2.3.3.2).

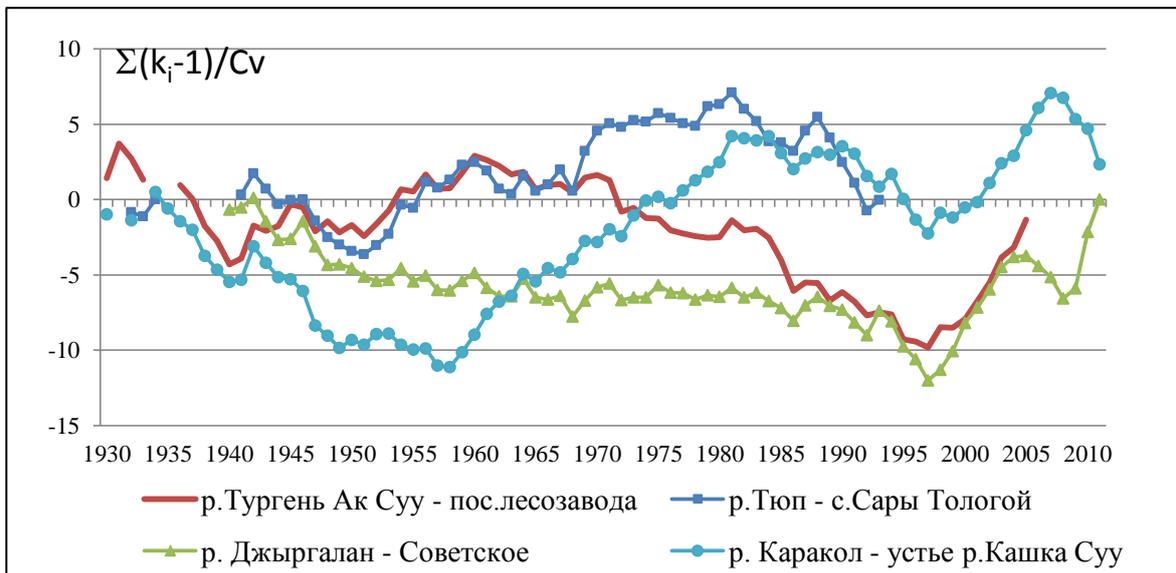


Рис. 2.3.3.3. Разностно-интегральные кривые среднегодового стока 2 группы рек

3 группа (Рис. 2.3.3.4): Реки южного склона Терской Ала Тоо с засушливым климатом – р.Кичине Кызыл Суу – с.Покровка, р.Туура Суу – с.Улахол, р.Ак Терек – с.Кызыл Туу, р.Тамга – с.Тамга, р.Тосор – устье р.Кодол, р.Чон Ак Суу – с.Григорьевка имеющие парные коэффициенты – 0,56 – 0,62. На реках этой группы рек с 2000-х годов наблюдаются спады уровня воды до 20% (см. рис. 2.3.3.2).

Отдельно можно выделить реки Тору Айгыр – устье р. Кызыл Булак и Чон Орюк Туу - коневодческий совхоз, у которых довольно низкие коэффициенты парной корреляции с реками Иссык-Кульского бассейна.

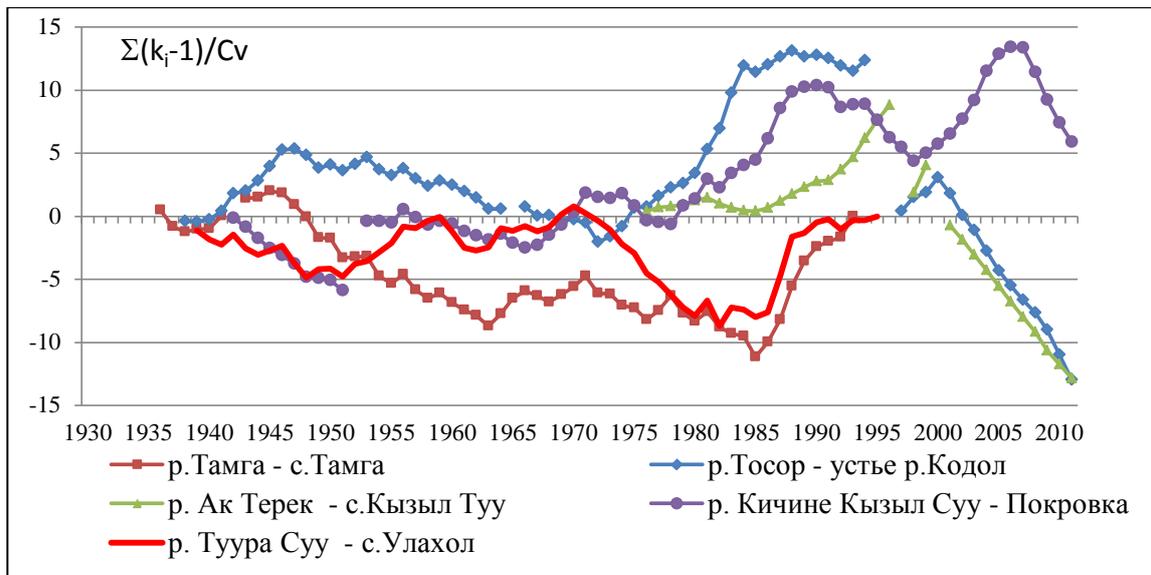


Рис. 2.3.3.4. Разностно-интегральные кривые среднегодового стока 3 группы рек

Таким образом, в целях выявления периода изменения годового стока и изучения гидрологических циклов рек Иссык-Кульского бассейна была построена корреляционная матрица и разностно-интегральные кривые.

По тесноте зависимости – значению парной корреляции (R_{ij}) и характеру изменения стока можно выделить три основные группы рек.

Первая группа. В нее вошли реки Чон Кызыл Суу, Ак Суу, Джуукуу, Чон Джаргылчак, Тон, Чон Кой Суу, Чолпон Ата, Ак Суу, Ак Сай, Джеты Огуз, Барскоон, Ой Тал. В их стоке наблюдается устойчивая тенденция к повышению с 1990-х годов, на отдельных реках Тон, Джеты Огуз, Джуукуу и Ак Суу (с. Семеновка) - с 1980-х годов, на реке Барскоон – с 1970-х годов. Среднегодовые расходы воды на этих реках за период с 1992 по 2011 гг. значительно повысились и составили 107-171 % от значений за период с 1930 по 1991 гг.

Вторая группа. Сюда вошли реки восточного побережья оз. Иссык-Куль с влажным климатом, имеющие в основном снегово-ледниковое питание – Джыргалан, Тюп и ледниково-снегового питания – Тургень Ак Суу и Каракол. Сток рек за периоды с 1992 по 2011 гг. и с 1930 по 1991 гг. повысился незначительно – на 1 – 14 %.

Третья группа рек. Это реки южного склона Терской Ала Тоо с засушливым климатом: Кичине Кызыл Суу, Туура Суу, Ак Терек, Тамга, Тосор и Чон Ак Суу. На реках этой группы рек с 2000-х годов наблюдаются спады уровня воды до 20 %.

Литература:

- *Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.14. Вып.2. Бассейн р.Сыр-Дарьи. // Под ред. М.Н.Большакова. – Л.:Гидрометеоиздат, 1973г. – 439с.*
- *Шульц В.Л. Реки Средней Азии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – 680 с.*
- *Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. – Л.:Гидрометеоиздат, 182 - 183 с.*

2.3.4. Оценка переноса и распределения взвешенных наносов в бассейне Токтогульского водохранилища.

В соответствии с глобальными климатическими изменениями, важное значение приобретает изменение поверхностного стока в Центрально-Азиатском регионе, с которым тесно связаны проблемы обеспечения качественными водными ресурсами и деградации земель в результате эрозии.

Токтогульское водохранилище расположено в обширной Кетмень-Тюбинской впадине, ограничено с севера Таласским и Сусамырским хребтами, с юга и юго-востока хр. Молдо-Тоо и северо-западными отрогами Ферганского хребта, с юго-запада Атоинокским хребтом, на территории Токтогульского района Ошской области Кыргызстана.

Заполнение водохранилища было начато в июле 1974 г.

На рис. 2.3.4.1 представлена карта частного гидрологического бассейна Токтогульского водохранилища построенная по топографическим картам 1:100 000 масштаба и Цифровой Модели Рельефа.

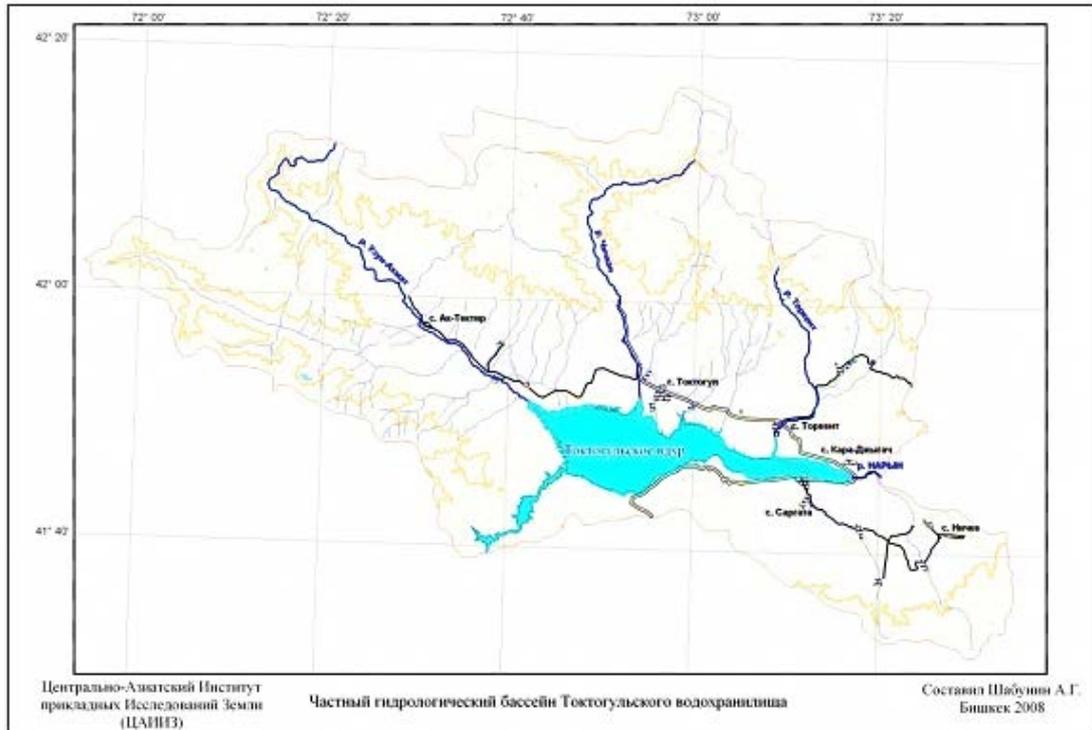


Рис. 2.3.4.1. Частный гидрологический бассейн Токтогульского водохранилища

Связь климатических параметров и поверхностного стока

Для оценки климатических и гидрологических условий бассейна реки Нарын были использованы данные по метеостанциям (16 станций) и гидропостам (20 постов) Государственного Агентства по Гидрометеорологии при МЧС КР. Схема их расположения представлена на рис. 2.3.4.2.

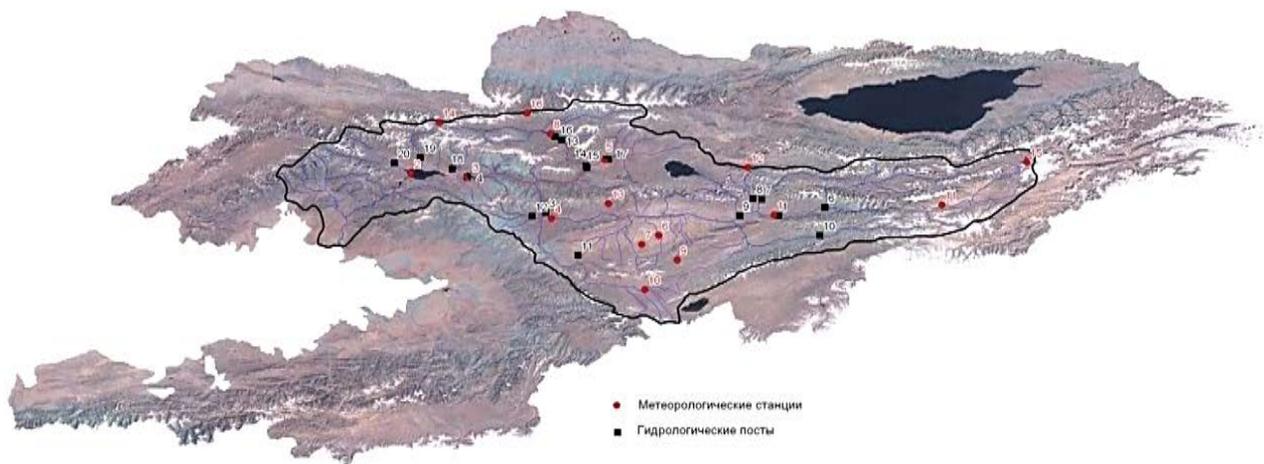


Рис. 2.3.4.2. Схема расположения метеорологических станций и гидрологических постов в бассейне реки Нарын

Получена хорошая связь коэффициентов корреляции значений температур при приведении коротких рядов данных наблюдений к опорной станции Нарын.

Отмечено увеличение среднегодовой температуры воздуха по м.с. Нарын (рис. 2.3.4.3). Выдвинута теория об антропогенном влиянии на измерения температуры воздуха на метеостанции Нарын в период 1954-1980 гг.

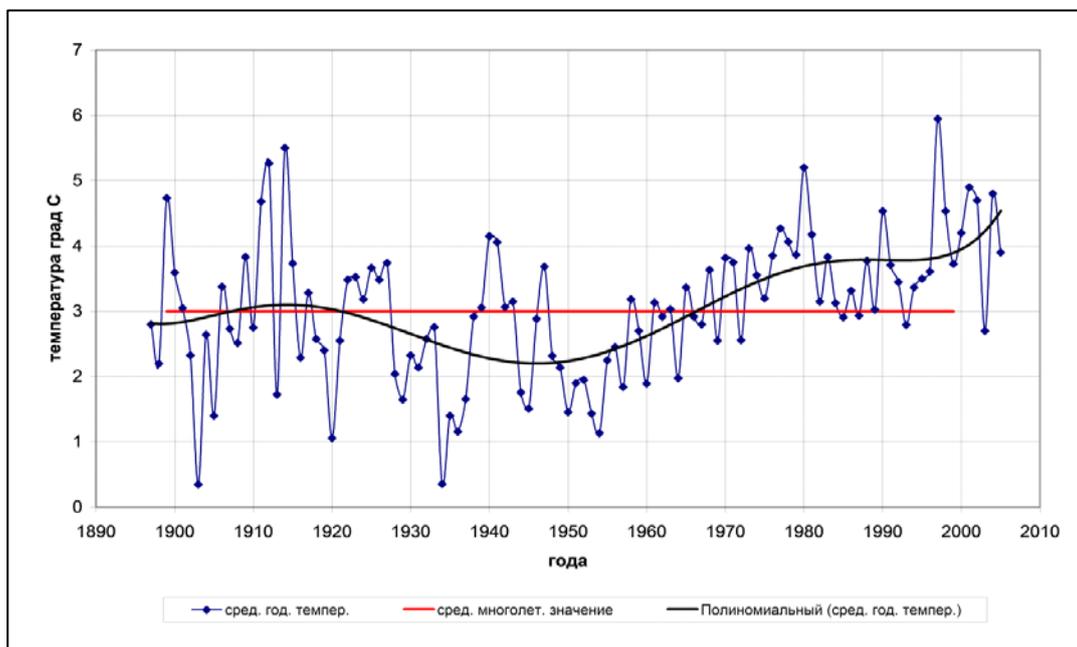


Рис. 2.3.4.3. Тренд среднегодовой температуры воздуха по м.с. Нарын

Показано что наиболее ярко выраженные тренды среднемесячных температур относятся к коротким рядам спадов и подъемов, при рассмотрении же трендов для длинных рядов, видно, что они лежат около 0°C .

В отличие от температуры воздуха, коэффициенты корреляции для пар опорных и приводимых станций по атмосферным осадкам варьировали в относительно широких пределах. Это говорит о том, что основные объемы выпадения осадков более сильно зависят от локальных условий, чем распределение температуры воздуха, к таким условиям можно отнести рельеф местности, физико-химические свойства нижнего слоя атмосферы и т.д.

Наибольшее количество осадков в бассейне р. Нарын выпадает в северной его части на южных склонах Таласского хребта (633, 799 мм), также наблюдается повышенное количество осадков на южных склонах хребта Молдо-Тоо (549 мм). В целом же бассейн р. Нарын отличается малым количеством осадков – около 300 мм. Наименьшее их количество отмечается на станции Тарагай (Каракольская), расположенной в узком ущелье между хребтами Джетим-Бель и Нарын-Тоо, среднегодовая сумма осадков здесь составляет 193 мм (рис. 2.3.4.4). Процентное распределение осадков по месяцам имеет общие черты для всех станций бассейна,

однако максимумы и минимумы осадков немного смещены для отдельных групп станций.

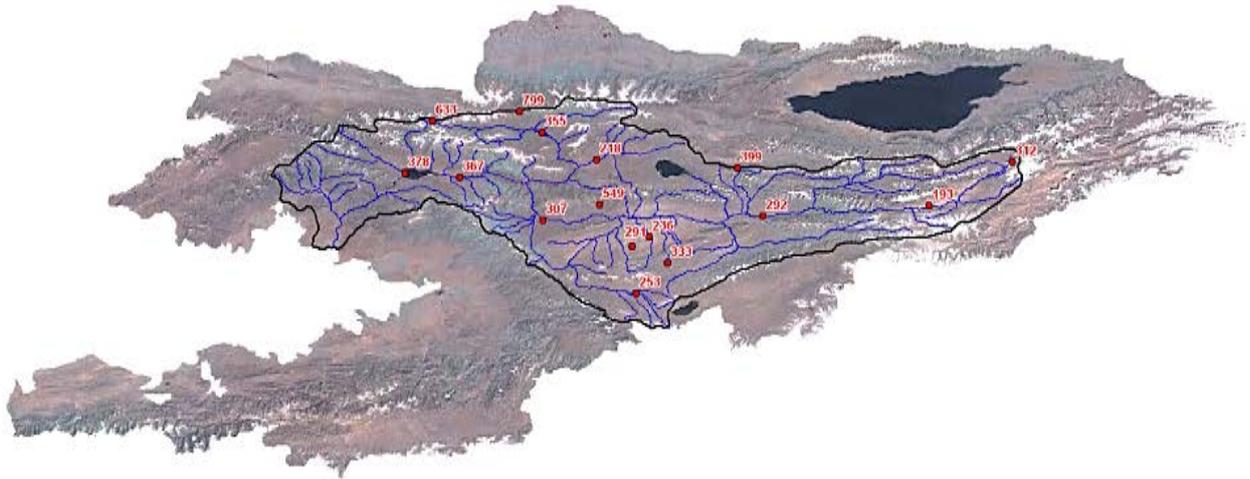


Рис. 2.3.4.4. Среднегодовые суммы осадков в бассейне р. Нарын за рассматриваемый период

При рассмотрении поверхностного стока показано, что по мере продвижения от истока р. Нарын к ее устью, пик половодья, благодаря притокам, смещается на более ранний период, и если у г. Нарын он приходится на середину июля, то уже у с. Учтерек он смещается к концу июня (рис. 2.3.4.5).

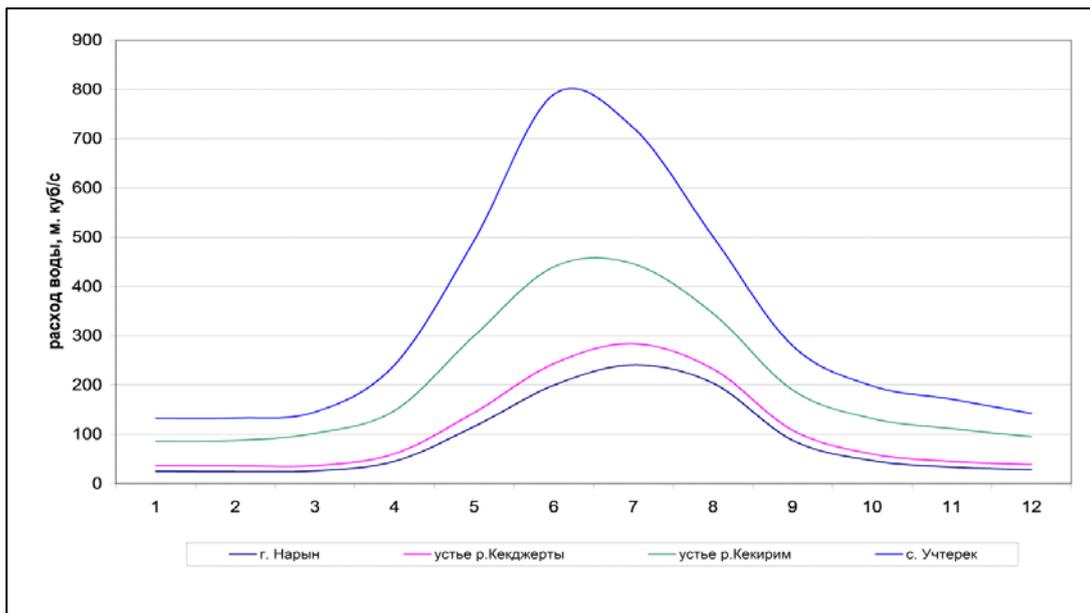


Рис. 2.3.4.5. Среднемесячные гидрографы стока р. Нарын за период наблюдений

Показано, что температура воздуха для всего бассейна повышается примерно на 0,01 °С в год, только для восточной части Нарынского бассейна это повышение менее заметно и отмечается лишь в тысячном знаке после запятой.

Линейные тренды осадков дают не такую однозначную картину, здесь представлены как уменьшения количества осадков, так и их увеличения по отдельным станциям. Кроме этого можно отметить, что тренды осадков не связаны с высотой метеорологической станции, и увеличение и уменьшение годовых сумм осадков отмечается на всех высотах.

На всем протяжении р. Нарын, от слияния рек Большого и Малого Нарына до впадения р. Нарын в Токтогульское водохранилище, тренд расходов воды положительный и увеличивается по мере продвижения от истока к устью. Та же закономерность прослеживается на р. Кёкёмерен. Для рек Большой и Малый Нарын, как и для большинства остальных притоков тренд расходов воды имеет отрицательный характер. Положительные тренды, кроме упомянутых рек Нарын и Кёкёмерен, отмечаются лишь у рек Алабуга и Узунахмат.

Геолого-гидрологические условия

Оценку переноса и распределения взвешенных наносов в бассейне Токтогульского водохранилища нельзя проводить без анализа геолого-гидрогеологических условий данного бассейна. Для анализа, по геологическим картам масштаба 1:200 000, была построена цифровая геологическая карта Токтогульского бассейна (рис. 2.3.4.6).

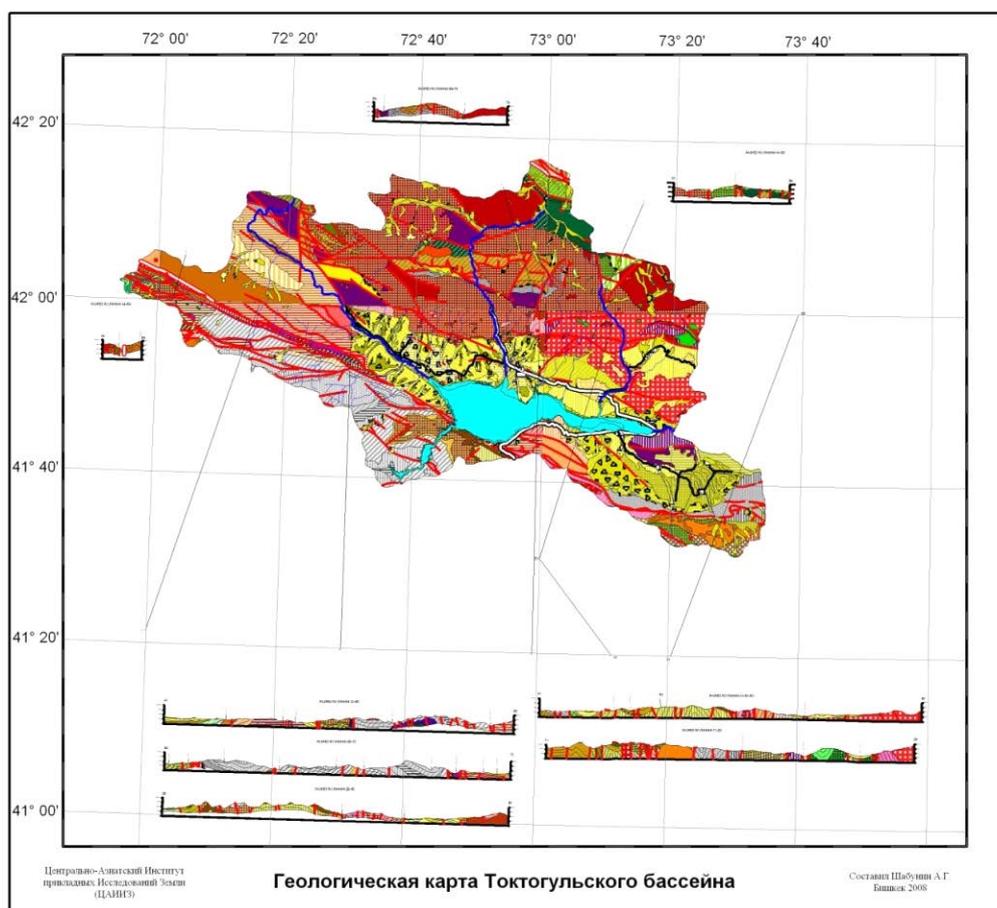


Рис. 2.3.4.6. Геологическая карта бассейна Токтогульского водохранилища.

Площадь рассматриваемого района расположена в области сопряжения трёх главнейших структурно-фациальных зон Тянь-Шаня: Северной, Чаткало-Нарынской и Южной.

Кетмень-Тюбинская впадина является крайним западным звеном в следующей более южной цепи впадин срединного Тянь-Шаня. Она имеет запад-северо-западное простираие и приурочена к важнейшей структурной линии Тянь-Шаня (линия Николаева), в котором к ней причленяется с юго-востока Ферганский краевой разлом.

Тектонические движения в исследуемом регионе продолжаютя вплоть до настоящего времени, что приводит к дислокации позднеплейстоценовых и даже голоценовых террас. Крестниковым В.Н. (1960) [3], в частности, рисуется поперечная Чичканская зона нарушений, оказывающаяся в образовании наиболее прогнутаой части впадины в направлении нижнего течения р. Чичкан.

Гидрогеологические условия Кетмень-Тюбинской впадины достаточно сложные, что определяется неоднородностью условий распространения, формирования, фильтрации и разгрузки подземных вод.

Оценка водной плоскостной эрозии

Была произведена оценка изменения площадей эрозионных форм Токтогульдского бассейна за время эксплуатации водохранилища. Эту работа проводилась по результатам сравнения космических снимков на время создания водохранилища и на настоящее время. Территориальные комплексы с различной степенью почвенной эрозии могут быть прослежены и дифференцированы по космическим снимкам. Однако, для первичного определения вида почв подверженных той или иной эрозии, необходимо воспользоваться фактическим материалом по районированию территории по эрозионному признаку.

Оценка водной плоскостной эрозии достаточно надежно может быть проведена по материалам дешифрирования космоснимков. При этом точность такой оценки во многом зависит от разрешения и качества снимков, а также от масштаба отображения взятой за основу карты.

Процессы и явления связанные с линейной эрозией по снимкам Landsat не определяются или определяются с большим приближением и соответственно погрешностями. Для такого рода определений необходима дешифровка снимков с большим разрешением.

Основные изменения эрозионных комплексов по площади произошли в прибрежной области Токтогульского водохранилища. Это связано с заполнением водохранилища и соответственно увеличением его площади (с 92,41 км² в 1975 г. до 230,20 км² в 2001 г.), и как следствие затоплением прилегающих территорий и резким сокращением их

площадей (сокращение площади подверженной плоскостной эрозией на орошаемых землях для среднесмытых почв с 166,20 км² до 92,41 км² за исследуемый период).

В остальных областях в пределах Токтогульского бассейна эти изменения незначительны, что связано, прежде всего, с устойчивостью почвенного покрова в высокогорных областях.

Полученная, в результате выполнения данных работ, цифровая карта эрозии почв Токтогульского бассейна на 2001 г. (рис. 2.3.4.7), отражает распределение земель подверженных различным видам водной плоскостной эрозии и может быть использована при проведении различного вида работ в этом направлении. Для более детального определения отдельных участков бассейна и видов эрозионных процессов необходима более детальная основа и космические снимки высокого разрешения.

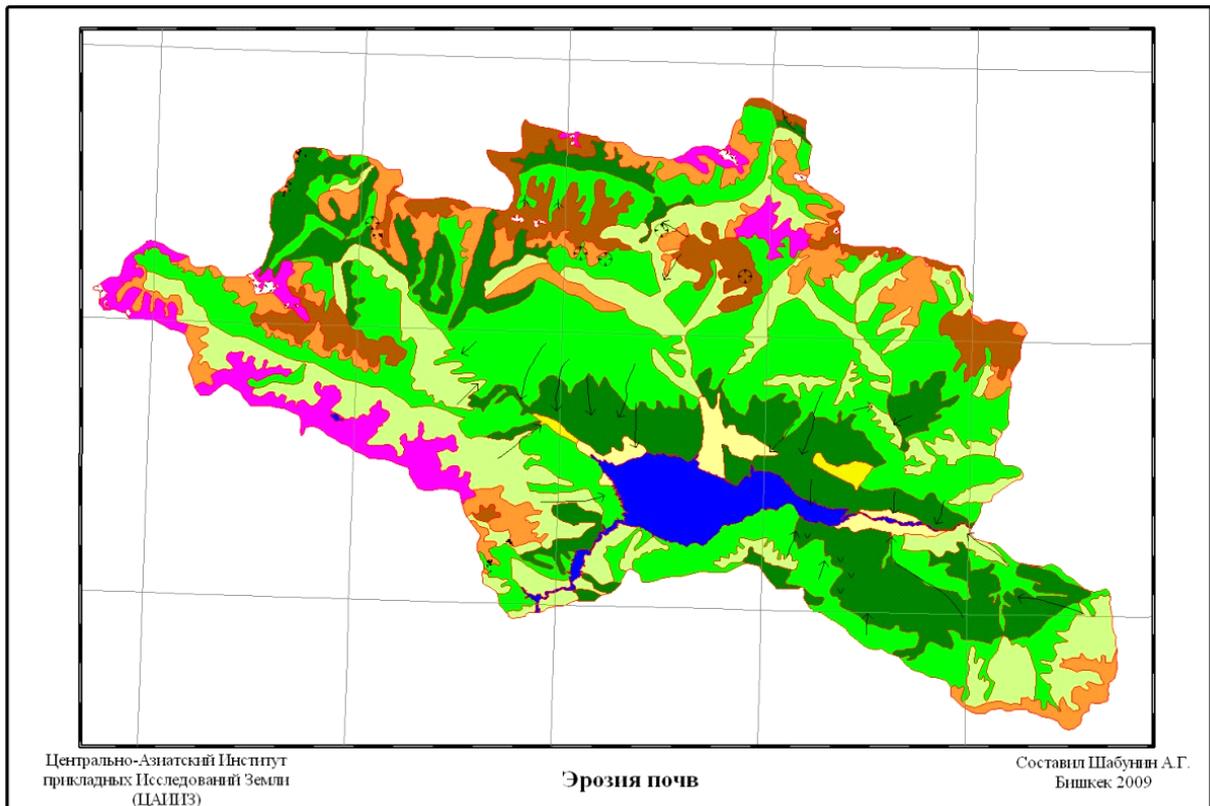


Рис. 2.3.4.7. Цифровая карта эрозии почв Токтогульского бассейна на 2001 г.

Связь расходов воды и взвешенных наносов р. Нарын

Более 85% притока воды в Токтогульское водохранилище обеспечивает р. Нарын. Примерно такой же процент составляет и объем твердого стока приносимого р. Нарын в Токтогульское водохранилище [4].

Важность изучения данного вопроса заключается в том, что наносы откладываясь в водохранилище уменьшают его полезную емкость и могут значительно изменять русловые процессы в устьевой части впадающей в водохранилище реки.

Были проанализированы связи расходов наносов со среднемесячными расходами воды за тот же период. Для этой цели были рассчитаны попарные коэффициенты корреляции между жидким и твердым стоком для каждого месяца года за выбранный 25 летний период.

Наиболее высокие значения коэффициентов корреляции между жидким и твердым стоком наблюдаются в течение 5 месяцев года (май-сентябрь). Именно в эти месяцы р.Нарын наиболее полноводна и переносит основную часть наносов. Расчеты показали, что в среднем за анализируемый 26 летний период через пост Уч-Терек за май-сентябрь проходит 70% жидкого стока и 88% стока наносов.

Были рассчитаны и построены линейные зависимости среднегодовых значений расходов наносов от среднегодовых расходов воды за исследуемый период (рис. 2.3.4.8), а также зависимости исследуемых величин за 5 (май-сентябрь) и 7 (октябрь-апрель) месяцев года.

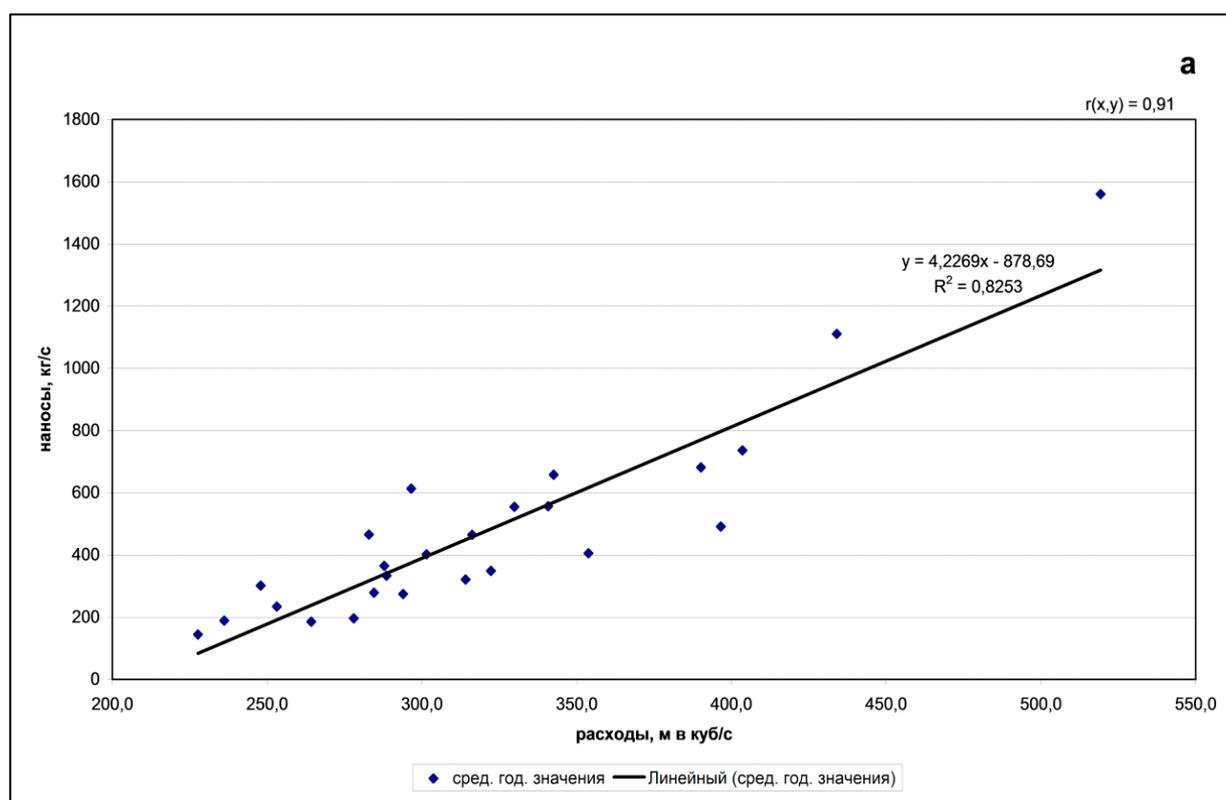


Рис. 2.3.4.8. Зависимость расходов наносов от расходов воды по посту Уч-Терек (среднегодовые значения)

Среднегодовой расход воды в створе поста Уч-Терек (или объем годового стока) во многом определяет и расход (сток) наносов. Коэффициент корреляции между этими величинами равен 0,91. Средние расходы жидкого и твердого стока за 5 месяцев (май-сентябрь) также имеют связь с коэффициентом корреляции равным 0,91, а за оставшиеся 7 месяцев года связь между этими величинами значительно хуже (коэффициент корреляции равен 0,56).

Расчет заиления Токтогульского водохранилища за время его эксплуатации (1974-2009 гг.)

Одним из главных факторов в оценке динамики водных запасов и режима эксплуатации водохранилищ является изменение объема их чаш за счет заиления, переформирования берегов и просадок грунта ложа.

Данная работа была проведена с целью оценки общего содержания наносов и их распределения по акватории водохранилища.

Для оценки объемов заиления Токтогульского водохранилища в данном исследовании был выбран метод батиметрической съемки его акватории, и определения абсолютных высот местности в осушенной части. Этот метод, по сравнению с другими методами определения заиления водохранилищ, является наиболее точным при оценке действительных объемов накопившегося твердого материала в чаше водохранилища.

Для проведения расчетов по данному методу, были использованы топографические карты масштаба 1: 25 000 (съемка 60-х годов, до создания водохранилища) и проведен ряд полевых исследований по определению абсолютных высот местности. Ряд полевых исследований проводился совместно с сотрудниками ИВПиГЭ НАН КР, и участниками проекта КР1430.

В результате полевых исследований были получены 4 вида данных: точечные GPS измерения проведенные при помощи TopconGB-1000 на осушенной части водохранилища, прибрежные замеры глубин выборочных участков полученные с помощью эхолота Humminbird PiranhaMAX 240, профили на осушенной территории с помощью геодезического тахеометра «Leica» и продолжение этих профилей на акватории водохранилища полученные с использованием системы эхолокации дна водоемов Seeducer.

По результатам данных работ были построены цифровые карты рельефа местности до создания водохранилища и на текущий момент времени (рис. 2.3.4.9).

Гидрометрическими методами [2] проведены расчеты заиления Токтогульского водохранилища за период его эксплуатации. Объем заиления составил 0,52 млрд. м³.

Распределение наносов по акватории водохранилища можно проследить при совмещении слоев рельефа местности на 3-D модели (рис. 2.3.4.10).

Теоретическая оценка объемов отложений наносов показала величину (0,50 млрд. м³) близкую к полученной непосредственными измерениями (0,52 млрд. м³).

Заиление водохранилища происходит в интервале высот 900 – 770 метров над уровнем моря (в Балтийской системе высот). Выше 900 метров изменения рельефа местности не наблюдается, что связано с заполнением водохранилища не выше этой отметки. Также не определено изменение рельефа ниже 770 метров, это связано с

тем, что рельеф с данными высотами представлен каньоном, ведущим к плотине водохранилища, а там измерения не проводились по причине плохой видимости приборами спутников, преломлениями отражений при эхолокации и незначительной доли объема воды по сравнению с основной чашей водохранилища.

В интервале высот 780-800 м наблюдается отрицательный баланс осаднения ($0,24 \text{ млрд. м}^3$), что, по нашему мнению, связано с вымыванием на этих глубинах донного грунта в период заполнения водохранилища.

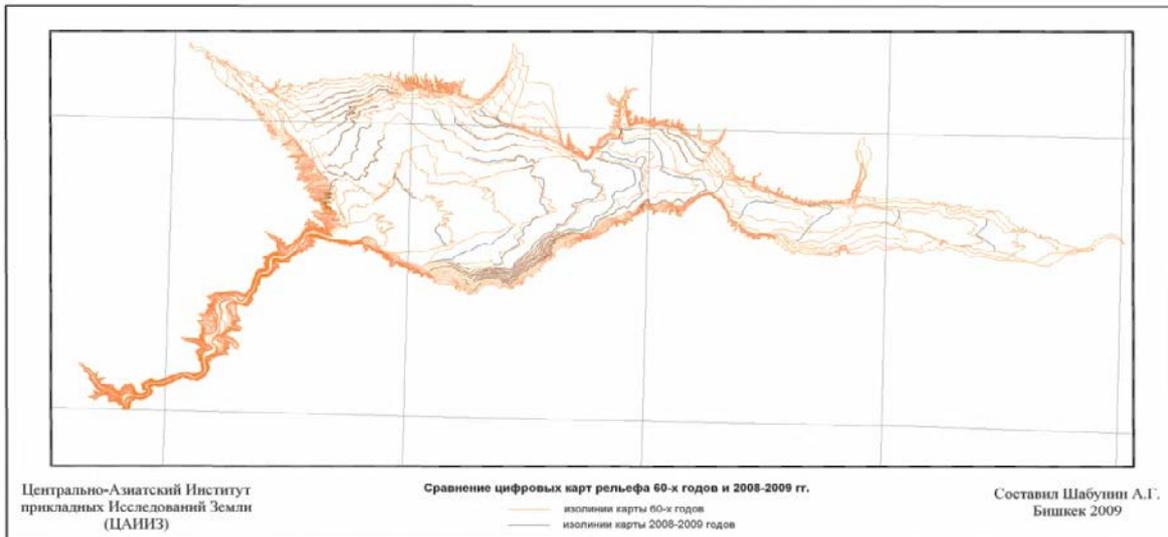


Рис. 2.3.4.9. Сравнение цифровых карт рельефа 60-х годов и 2008-2009 гг. (изобаты проведены через 10 м)

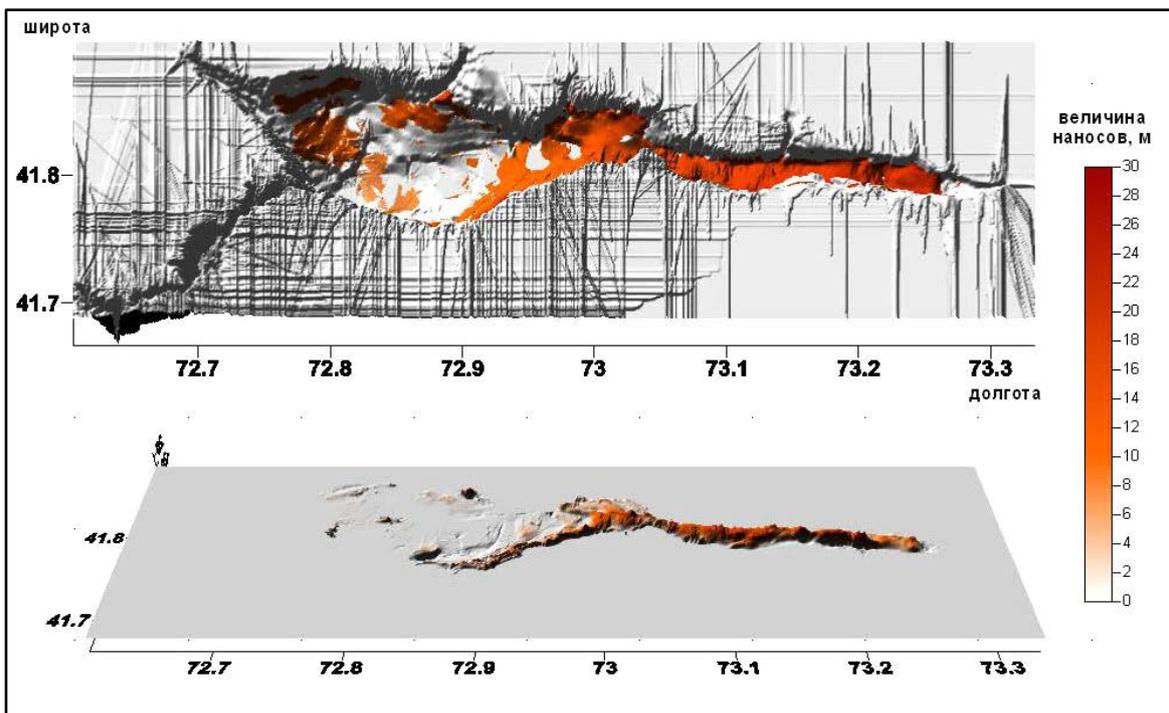


Рис. 2.3.4.10. Распределение наносов по акватории водохранилища

Уровень мертвого объема (УМО) Токтогульского водохранилища находится на отметке 837 м. Для оценки распределения объемов нами за УМО была принята высота 840 м. Оценка показала, что 0,38 млрд. м³ наносов отложено в зоне полезного объема (2,3 % от общей величины полезного объема), и 0,14 млрд. м³ в зоне мертвого объема (2,2 %).

В результате расчетов по топографическим картам съемки 1960-х годов, была получена величина полного объема Токтогульского водохранилища – 20,0 млрд. м³ при уровне 900 м. Однако по литературным данным эта величина составляет 19,5 млрд. м³. Причина этой невязки требует специального детального изучения совместно с другими заинтересованными организациями.

В результате анализа получена хорошая связь коэффициентов корреляции значений температур при приведении коротких рядов данных наблюдений к опорной станции Нарын.

Отмечено увеличение среднегодовой температуры воздуха по м.с. Нарын. Выдвинута гипотеза об антропогенном влиянии на измерения температуры воздуха на метеостанции Нарын в период 1954-1980 гг.

Показано что наиболее ярко выраженные тренды среднемесячных температур относятся к коротким рядам спадов и подъемов, при рассмотрении же трендов для длинных рядов, видно, что они лежат около 0 °С.

Показано, что температура воздуха для всего бассейна повышается примерно на 0,01 °С в год, только для восточной части Нарынского бассейна это повышение менее заметно и отмечается лишь в тысячном знаке после запятой.

Рассчитаны и построены линейные зависимости среднегодовых значений расходов наносов от среднегодовых расходов воды за исследуемый период. Проведены расчеты заиления Токтогульского водохранилища за период его эксплуатации. Объем заиления составил 0,52 млрд. м³.

Построена объемная кривая наносов Токтогульского водохранилища, а так же рассчитаны батиграфическая и объемная кривые с учетом накопившегося в чаше водохранилища седиментационного материала.

Рассчитаны итоговые характеристики площади, объема и средней глубины Токтогульского водохранилища для различных высот уровня воды с учетом отложившегося седиментационного материала.

Литература:

- <http://www.cawa-project.net/>
- В.Д. Быков, А.В. Васильев. *Гидрометрия*. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 448 с.

- Гзовский М.В. Крестников В.Н., Нерсесов ИЛ., Рейснер Г.И. Новые принципы сейсмического районирования на примере центральной части Тянь-Шаня // ИАН СССР. Сер. геофиз. 1960. № 2. С. 77-94; № 3. С. 353-370.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.14. Вып. 1. Бассейн р.Сыр-Дарья / Под ред. И.А.Ильина. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 440 с.

2.3.5 Мониторинг и оценка прорывоопасных озер северного склона Терской Ала-Тоо и Кыргызского горного хребта.

Анализ спутниковых данных показал, что за период с 1971 по 2007 год, наблюдалось значительное сокращение ледников в предгорьях Тянь-Шаня, где расположены крупные города. Большинство из ледниковых озер в этом регионе начало появляться с 1980 года по мере сокращения ледников. В горах Центральной Азии наводнения, вызванные переполнением ледниковых озер (GLOF) в 2002, 2008 и 2012 годах, стали причиной гибели людей, нанесли серьезный ущерб инфраструктуре и урожаю. Эти наводнения (GLOF) были не такими значительными как в Гималаях. Тем не менее, с развитием ледниковых озер наводнения все чаще представляют угрозу для местных жителей.

Ниже приведены результаты исследования в 2008 – 2012 гг. ледниковых озер северного склона Терской Ала-Тоо и Кыргызского хребта.

Прорывоопасные озера северного склона Терской Ала-Тоо.

В настоящее время на северном склоне Терской Ала-Тоо расположено около семидесяти высокогорных ледниковых озер, из них более тринадцати считаются потенциально прорывоопасными (Рис.2.3.5.1).

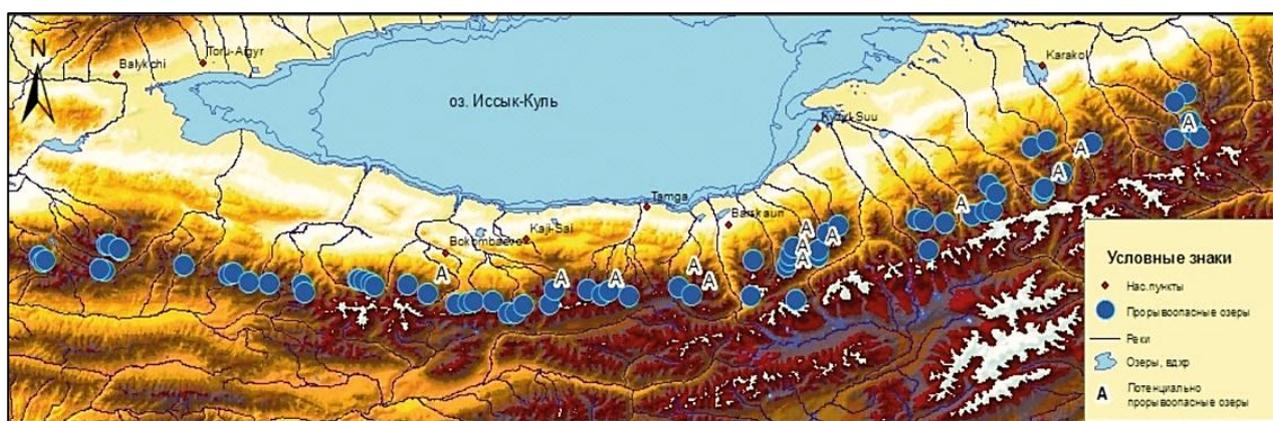


Рис. 2.3.5.1. Расположение прорывоопасных высокогорных озер северного склона Терской Ала-Тоо

Если рассматривать прорывоопасные ледниковые озера северного склона Терской Ала-Тоо по отдельным административным районам, они оцениваются по разному количеству, размеру и объему. Так, в Тонском районе расположено двадцать шесть высокогорных озер в верховьях бассейнов рек Тон, Тосор, Туура-Суу, Джер-Ай, Ак-

Терек, Ак-Сай, из них шесть озер отнесены к потенциально прорывоопасным. А в Джети-Огузском районе всего насчитывается около сорока высокогорных озер, из них четыре относятся к потенциально прорывоопасным. Озера сосредоточены в основном в верховьях рек Барскоон, Жети-Огуз, Ырдык, Кичи и Чон-Кызыл-Суу [3].

На северном склоне Терской Ала-Тоо область формирования гляциальных селей расположена на территориях занятых современным оледенением и моренами. В рельефе выражены скалистыми гребнями гор, цирками, карами. Нижняя граница проходит на высоте 3 - 3,5 тысячи метров. В этой области создаются благоприятные условия для формирования больших объемов талых снеговых и ледниковых вод. В этом регионе сокращение ледников по площади составило около 8% за период 1971-2002 года, а прорывы озер фиксируются с 1970 года.

Полевые исследования нескольких наводнений в этом регионе в течение 2006-2009 годов, показали, что в горных районах именно грязекаменные сели являются наиболее мощными и разрушительными. Например, в долине р. Тон при прорыве внутрiledниковых емкостей ледника Анги-Сай в 1980 г. на субстрате деляпсивных гравитационных отложений зародился мощный грязекаменный сели высокой плотности, но не привел к жертвам.

Известно, что прорывы ледникового озера Анги-Сай сформировали селевые потоки в 1974, 1975 и 1980 гг. Также, в 1985 году произошло наводнение при прорыве озера Суук-Тор. Площадь затопленной территории селевым потоком при прорыве ледниковых озер Анги-Сай произошедший с 25 июня по 14 июля 1980 было нанесено на карту с использованием спутниковых снимков CoronaKH-4 (23.09.1971) и HexagonKH-9 (07.09.1980).

В районе исследований, за период 1999-2008 года наблюдались малые селевые потоки во время прорыва шести ледниковых озер (№ № 2, 16, 17, 24, 31, и 33). Для этих озер характерно увеличение объёма $>0.001 \text{ км}^2/\text{год}$ за период 1999-2008 года. Самое большое увеличение ($0,0053 \text{ км}^2/\text{год}$) наблюдалось для озера Восточный Зындан.

После интенсивных осадков 24.07.2008 г. произошел прорыв оз. Зындан. Это озеро образовалось в течение двух с половиной месяцев после таяния снегов в мае 2008 года. В результате прорыва в долине р. Зындан образовался мощный селевой поток, расход которого достигал $60-70 \text{ м}^3/\text{сек}$. Селевой поток прошел по долине р. Тон, привел к большим разрушениям и человеческим жертвам. Погибло три человека, много скота, был нанесен огромный ущерб, были уничтожены мосты, дороги, два дома и урожай.

Для изучения озера применялись методы наземного наблюдения и дистанционного зондирования. Так же для оценки изменения площади озер выполнена GPS (инструментом LeicaTCR 407) и батиметрическая съемка. Очертания береговой линии озер определялись посредством GPS приемника и базы RTK-GPS900 (Рис. 2.3.5.2).

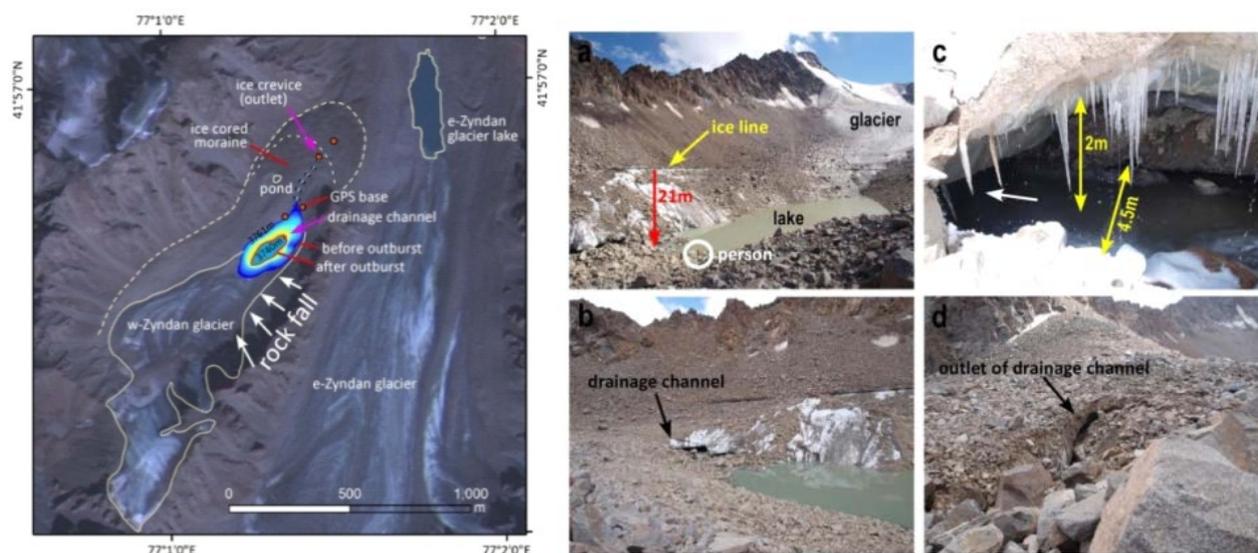


Рис. 2.3.5.2. Изменение береговой линии озера западный Зындан до и после прорыва (24 июля 2008 года). На рисунках а, б, с, д показаны прежний уровень воды в озере и размер моренно-ледникового туннеля.

Для наблюдения за изменениями объемов воды в озере Западный Зындан, с помощью GPS данных (2008), на основе топографических карт масштаба 1:50 000 (1973), и данных SRTM3 DEM (2000), построена цифровая модель района исследований. Протяженность и площадь зоны затопления была обследована при помощи GPS и спутниковых данных «ALOS/AVNIR-2» 4 августа 2008 года.

В результате обработки материалов GPS и батиметрической съемки озера в 2009 г. установлены следующие морфометрические характеристики: озеро находится на высоте 3759 м н.у.м., площадь озера до прорыва была 0.0422 км², после прорыва составила 0.0083 км², объем воды до прорыва - 459,000 м³, расход воды во время прорыва достиг 86 м³/сек, максимальная глубина 25 м [2].

Прорывоопасные озера северного склона Кыргызского хребта

На основе дешифрирования аэро- и космо- снимков разных лет, а также топографической съемки ледников, была получена информация о деградации ледников, происходящая в настоящее время на северном склоне Кыргызского хребта. В случае дальнейшего отступления ледников, можно ожидать появление многочисленных высокогорных озер. Рассмотрены первые результаты и результаты прежних исследований по озерам северного склона Кыргызского хребта.

При изучении высокогорных озер были использованы методы Дистанционного Зондирования Земли (ДЗЗ) и ГИС. Для анализа современных изменений климата и водного ресурса района использованы данные Агентства по метеорологии Кыргызской Республики. Для картографирования территорий применялись цифровые модели рельефа (ЦМР), с разрешением 30 метров, построенная по данным радиометра ASTER DEM. Полигональные данные по озерам были занесены в ГИС с добавлением информации о местоположении, площади, высоте и атрибутивных

данных. Используя спутниковые изображения ALOS PRISM/AVNIR-2 с 2006 по 2010 года, Landsat 7 ETM с 1999 по 2002 года, и LANDSAT 8 определено 194 высокогорных озера, из них 178 озер относятся к малым озерам.

Озеро Коль-Тор лежит в средней части долины р. Коль-Тор — правого притока Кегети. Сравнение результатов батиметрической съемки 2011 г. с результатами исследований Шнитникова [4] с 1971 года показало увеличение размеров и объемов озера. Глубина озера, постепенно увеличивается от устья питающей его речки к природной плотине. Наибольшая глубина, измеренная 19 июня 1971 года достигла 8,4 м. Достаточно сказать, что с 1971 по 2011 гг. уровень озера повысился на 6,1 м. В настоящее время объем озера составляет 218052 м³, максимальная глубина 14,6 м (Рис. 2.3.5.3). Поверхностный озерный сток происходит естественным путем по хорошо разработанным каналам.

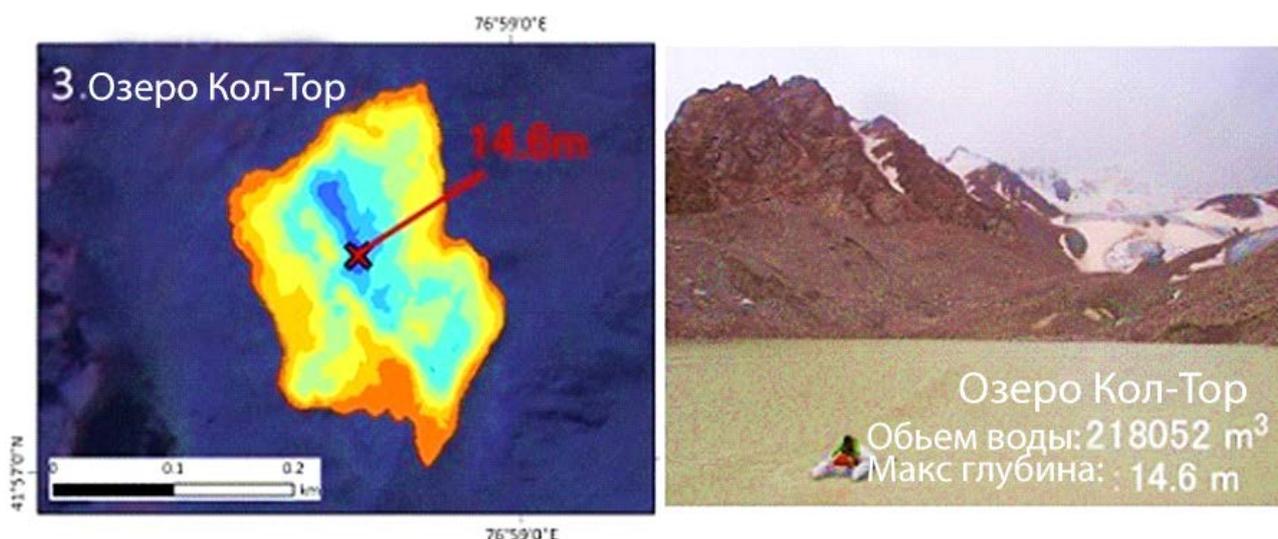


Рис. 2.3.5.3. Батиметрическая схема оз. Коль-Тор по состоянию на июль 2011 г.

В настоящее время на северном склоне Кыргызского хребта насчитывается около 6 прорывоопасных ледниковых озер, которые представляют потенциальную опасность для населения.

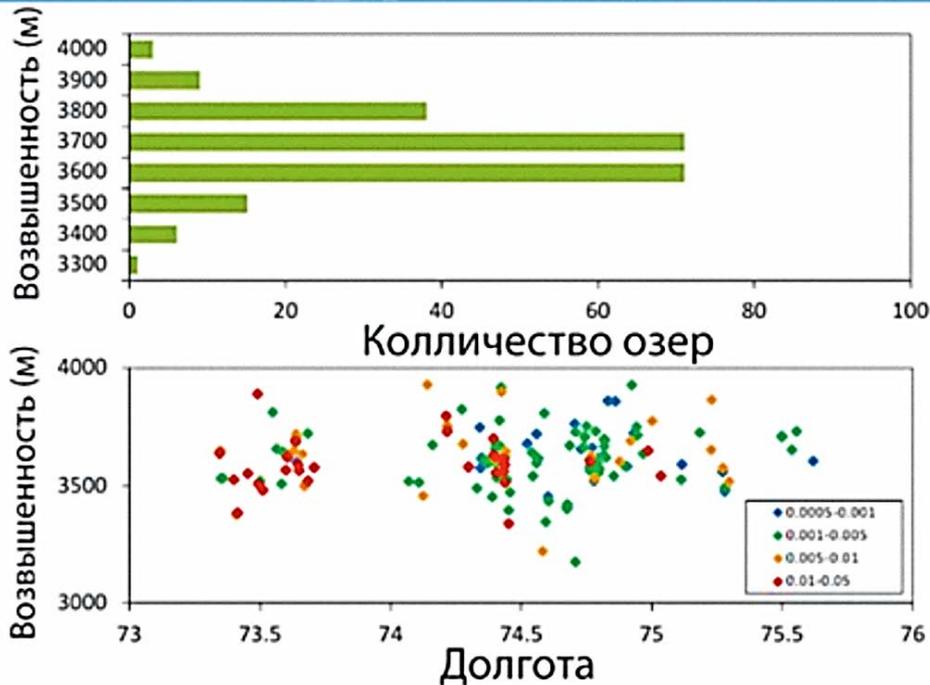
Основная часть озер Кыргызского хребта расположена в высотном интервале между 3100 и 3800 м. При этом на кривой высотного распределения озер видны два максимума — на высотах 3200—3300 и 3500—3800 м (Рис. 4.3.22).

В 2012 году, около полудня 31 июля в ущелье Адыгене, расположенном в 40 километрах от Бишкека, прорвало высокогорное озеро Тез-Тор.

Озеро Тез-Тор (42°32'23" N, 74°25'27" E) расположено на северном склоне Кыргызского хребта, в бассейне реки Ала-Арча, в верховьях одного из притоков р. Адыгене. Около ледника Тез-Тор, над моренно-ледниковым комплексом расположены приледниковые озера 1 и 2, которые вместе называются озером Тез-Тор. Озеро образовалось первоначально как реликтовое, выше морены стадии даун (моренный холм), и было, по-видимому, значительно более мелким, чем ныне. Позднее здесь же,

в зоне морены, произошел обвал скальных масс с левого борта долины. Сомкнувшись поверх морены, горные породы образовали прочную плотину шириной по верху около 10-13 м, и высотой около 2-4 м. Первоначально довольно мелкая котловина значительно увеличилась в объеме, заполнилась водой, в результате чего в ней и образовалось небольшое озеро. С течением времени в его подземной части образовалось морено-ледниковое русло.

Высота озер Кыргызского хребта Ала-Тоо



Крупные ледниковые озера в западной части

Рис. 2.3.5.4. Расположения озер по высотам на северном склоне Кыргызского хребта

В конце июля 2012 г. уровень воды в озере был близок к критическому, показатели июльской температуры 2012 г. превышали среднемесячные температуры воздуха. По некоторым данным уровень воды в озере повысился из-за таяния ледников. Согласно МЧС КР вода начала переливаться через плотину на озере Тез-Тор в 9:30 утра. Ближе к трем часам объем воды, которая переливалась через плотину составил 7-8 м³/с. Поток воды разрушал склоны узких долин, и сопровождался пролювиально-делювиальными осадками и наносами.

Прежняя линия уровня озера была оцифрована вручную в программе ArcGIS 9.3 (Рис. 2.3.5.5). Приледниковое озеро Тез-Тор находится в контакте с ледником на его южном берегу. Моренно-суглинистая береговая линия, которая вымыта над горно-моренными породами показывает на максимальный уровень озера до прорыва. Конечная морена на 3-5 м выше уровня воды озера, под моренной находится толща неподвижного льда. Толща льда обрушилась во время высокой температура воздуха и освободила морены, которые были подкреплены на льдах, вместе с тем освободилось озеро [1].

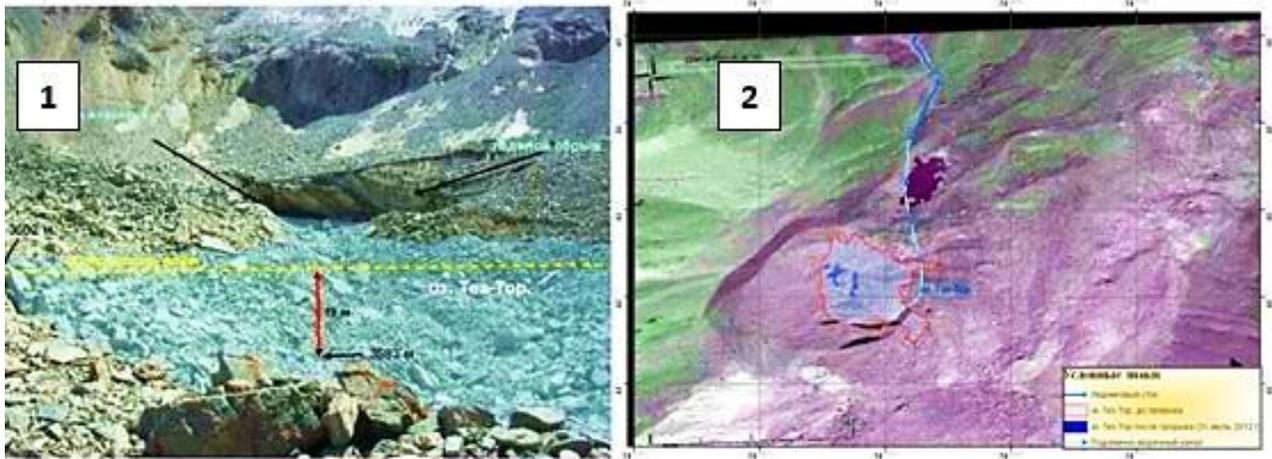


Рис. 2.3.5.5. Озеро Тез-Тор, после прорыва 31 июля 2012 года. На рисунке отмечены: прежний уровень воды в туннеле (1), изменение береговой линии озера Тез-Тор (2).

Полевые расчеты показали что расход р. Адыгене у устья р. Ала-Арча в 12:00 составил 23 м³/с, и в 14:00 достиг 27 м³/с. Максимальный расход воды составил 150 – 200 м³/с.

В настоящее время в ущелье Ала-Арча активно развивается рекреационный комплекс с различными видами экологического и экстремального туризма, горнолыжной отраслью. В этой связи оценка состояния и прорыва озер бассейн реки Ала-Арча, на основе геоинформационного моделирования помогут предупредить возможные неблагоприятные природные явления.

Выводы:

1. В результате исследований ледниковых озер северного склона Терской Ала-Тоо и Кыргызского хребта выявлены несколько сотен прорывоопасных озер, оценена динамика, уровни, объемы воды и обследованы затопляемые районы при прорыва ледниковых озер.
2. Основным направлением дальнейших исследований может быть многосторонний анализ и моделирование сложных многофакторных зависимостей в системе «озерные отложения – прорывоопасность – оценка механизма рисков».

Литература:

- Karamoldoev J., Daiyrov M., 2012. Assessment of modern state and natural precondition of Tez-Tor Lake outburst (the Ala-Archa river basin). International Conference on Eurasian Mountain's Cryosphere. Almaty, Kazakhstan. 30-31.
- Narama C., Duishonakunov M., Kaab A., Daiyrov M. A, and Abdrakhmatov K. A. The 24 July 2008 outburst flood at the western Zyndan glacier lake and recent regional changes in glacier lakes of the Teskey Ala-Too range, Tien Shan, Kyrgyzstan // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 647–659, 2010.
- Ерохин С.А. Инженерно-геологическое изучение плотин высокогорных селеопасных озер на территории Таласской, Нарынской, Чуйской и Иссык-Кульской

обл. Кыргызской Республики. Отчет Инженерно-геологической партии Кыргызский комплексной гидрогеологической экспедиции 2000-2008гг. Госгеолагентство КР. - Б., 2008. – 174 – 192 с.

- Шнитников А.В. Климатология, гидрология и геофизика озер внутреннего Тянь-Шаня (тенденции природного развития). Л.: "Наука", 1981. 244 с.

2.3.6. Исследования колебаний уровня подземных вод в Чуйской впадине.

Подземные воды на территории Кыргызстана представляют значительную часть водных ресурсов. Их объем, сосредоточенный, в основном, в межгорных впадинах, в четвертичном водоносном комплексе оценивается в 650 км³, а возобновляемый подземный сток составляет 11 км³/год [2]. Подземные воды имеют важное практическое значение, так водоснабжение города Бишкек, практически полностью, обеспечивается подземными водами.

С целью изучения закономерностей изменения уровня и ресурсов пресных подземных вод четвертичного водоносного комплекса на территории Чуйской впадины Кыргызстана, в мае 2012 года был начат мониторинг уровня подземных вод Ала-Арчинского месторождения подземных вод, расположенного в пределах города Бишкек и его окрестностей. Мониторинг осуществляется с помощью датчика «ОТТ_ecoLog_500» [1], предоставленного ЦАИИЗу фирмой «ОТТ Гидромет», (Кемптен, Германия) для научных исследований. Сенсор «ОТТ_ecoLog_500» установлен в скважине № 1301-4, наблюдательной сети режимных скважин Кыргызской комплексной гидрогеологической экспедиции Агенства по геологии и минеральным ресурсам КР. Эта скважина расположена на западной окраине г. Бишкек (42°52'1.06"С 74°28'50.31"В) абсолютная отметка поверхности земли 739 м). Ее местоположение можно посмотреть на рисунке 2.3.6.1 и по ссылке: (<http://maps.google.com/maps/ms?ie=UTF&msa=0&msid=203965682782791499.0004b53779c0491758c3a>)

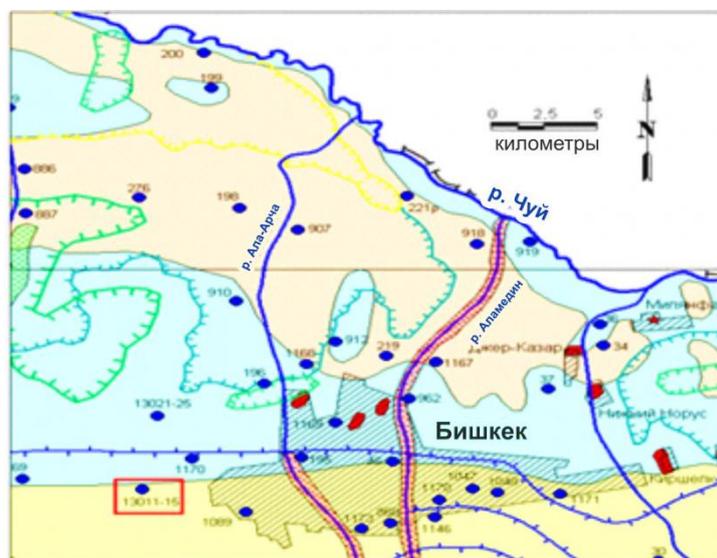


Рис. 2.3.6.1. Схема расположения части сети режимных скважин в Чуйской впадине (красный прямоугольник показывает позицию скважины 1301-4)

Скважина имеет глубину 75 м, она пробурена в процессе детальной разведки пресных подземных вод эксплуатируемого Ала-Арчинского месторождения подземных вод. Скважина вскрывает водоносный горизонт имеющий возраст Q II-III, представленный переслаивающейся толщей галечников, песка и гравия. Наблюдения за уровнем подземных вод ведутся с 1986 года.

В настоящее время датчик «ОТТ_еsoLog_500» расположен в скважине 1301-4 на глубине 19,5 метров, на 8-12 метров ниже уровня подземных вод. Измерение параметров (температура и глубина уровня) в течение 2012 года и части 2013 года выполнялось каждые 10 минут и передавалось по сотовой GSM - сети на сервер ЦАИИЗ. С 24 мая 2013 года период измерений равен одному часу. Получить эти данные и посмотреть график изменения уровня подземных вод можно по адресу: (<http://gdbweb.caiag.kg/WATER/index.php>).

За период наблюдения с 4 мая 2012 года по 4 мая 2013 года посредством датчика «ОТТ_еsoLog_500», расположенного в скважине 1301-4, получены данные по изменению уровня и температуре подземных вод. Температура воды на глубине 19,5 метров постоянная в течение годового периода измерений и равна 12,6-12,7 °С. Общий вид колебаний уровня подземных вод за указанный период показан на рисунке 2.3.6.2. Здесь резкое снижение уровня на 1.2 м, произошедшее 4 апреля в 17:40, обусловлено технической причиной - подъемом датчика давления вверх. Поэтому до коррекции положения датчика необходимо вычитать это расстояние из величины уровня. Кроме этого, обращают на себя внимание нерегулярные по частоте и амплитуде колебания уровня начиная с третьей декады ноября по середину января. Они, по-видимому, связаны с низкими температурами воздуха порядка -20 °С, влияющими на работу датчика, возможно на капиллярный канал, выравнивающий атмосферное давление в датчике.

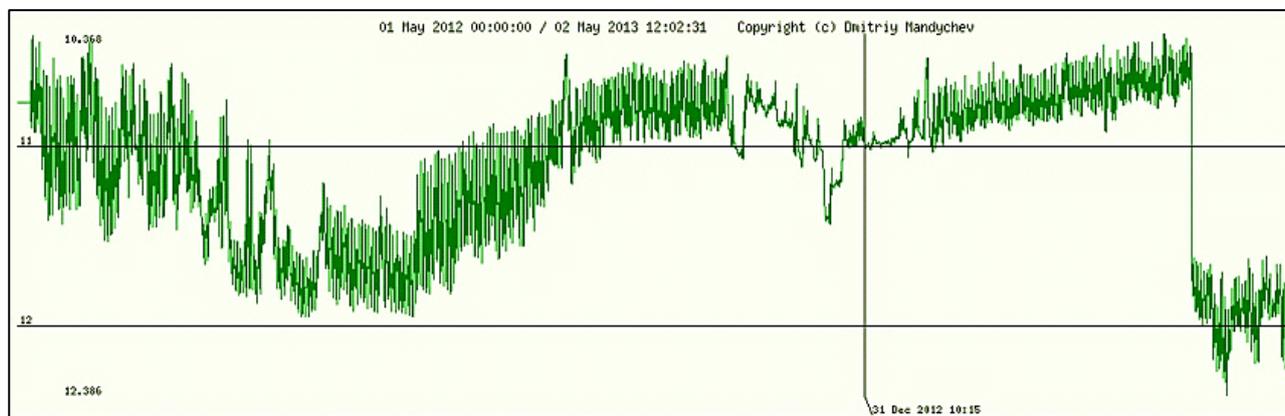


Рис. 2.3.6.2. Колебаний уровня подземных вод

Как видно на рисунке 2.3.6.3, наиболее длительные периоды колебания уровня подземных вод по скважине 1301-4, с амплитудой порядка 1 метра, наблюдаются в сезонном разрезе с минимумом в июле - августе. В это время глубина уровня, для данной скважины, близка к 11,63 метрам от поверхности земли. Максимум подъема уровня на глубине порядка 10,64 м наблюдается в марте-апреле. Эти сезонные

колебания, обусловленные изменением величины питания подземных вод, аналогичны колебаниям наблюдаемым в других скважинах Чуйского бассейна.



Рис. 2.3.6.3. Колебания уровня подземных вод по скважине 1301-4

Короткие периоды колебания уровня в скважине 1301-4 связаны с приливными движениями земной коры и зависят от положения Луны и Солнца относительно Земли. Наиболее ярко приливные колебания проявляются в течение суток в виде двух максимумов и минимумов уровня подземных вод, как это видно на рисунке 2.3.6.4. Следует иметь в виду, что, в данном случае, на графике уровня подземных вод максимальным глубинам или минимумам уровня соответствуют приливы (поднятия) в земной коре, а минимальным глубинам или максимумам уровня соответствуют отливы (опускания) в земной коре, и ее соответствующее растяжение и сжатие [3].



Рис. 2.3.6.4. Глубина залегания подземных вод

Период между двумя суточными минимумами уровня порядка 12 часов, что соответствует половине лунных суток (12 ч. 25 мин.). Период между двумя суточными

максимумами составляет около 6 часов. Как правило, первый минимум имеет большую амплитуду, чем второй, который соответствует второй более слабой приливной волне.

В общем случае максимальная амплитуда уровня составляет около 0,75 м, а минимальная – порядка 0,3-0,4 м. Помимо этого наблюдаются колебания уровня с одним максимумом и минимумом в течение суток, или со слабо выраженным вторым максимумом и минимумом.

Более длинные периоды колебания уровня в скважине 1301-4 показаны на рисунке 2.3.6.5 они имеют длительность около 14-15 суток и соответствуют половине сидерического лунного месяца имеющего длительность 29,52 суток. Максимумы и минимумы уровня этих колебаний соответствуют самым высоким сизигийным и самым низким квадратурным приливам, зависящим от совместной позиции Луны и Солнца. Амплитуда уровня подземных вод этих колебаний порядка 0,4 м. Эти колебания уровня наиболее хорошо проявились в мае-июне 2012 года, в дальнейшем их характер не был явно выражен.



Рис. 2.3.6.5. Глубина залегания подземных вод

Полученные данные наблюдений за режимом уровня подземных вод по скважине 1301-4 позволили выявить особенности колебания уровня подземных вод, обусловленные приливами в земной коре непосредственно в пределах Чуйского бассейна, проявившиеся в наличии двух и однопериодных внутрисуточных колебаниях уровня. Кроме этого, они позволили уточнить в 2012-2013 году характер сезонных изменений, аналогичный наблюдавшемуся в предшествующие годы и относительную стабильность величины статических запасов подземных вод четвертичного водоносного комплекса Чуйского бассейна подземных вод, используемых, в частности, для питьевого водоснабжения города Бишкек. Опыт использования для мониторинга уровня подземных вод автоматического датчика и передача информации через сотовую связь в сеть Интернет имеет важное значение для последующего создания автоматической сети наблюдений за подземными

водами. Зафиксированные в процессе наблюдений сбои в работе датчика в зимний период важны для улучшения в будущем результатов наблюдений за счет изменения конструкции или условий размещения датчика.

Литература:

- http://www.hydrolab.com/web/ott_hach.nsf/id/pa_ott-orpheus-mini.html
- Ланге О. К. *Подземные воды СССР*, ч. 1-2, М., 1959—1963.
- Мельхиор П. *Земные приливы*. - М.: Мир, 1968. - 482 с.

2.3.7 Анализ спутниковых изображений «Landsat 8» дешифрованных с целью картографирования водных и наземных объектов бассейна озера Иссык-Куль.

Программа спутника «Landsat» - наиболее продолжительный проект по получению спутниковых фотоснимков планеты Земля. Первый из спутников в рамках программы был запущен в 1972; последний, на настоящий момент, Landsat 8 - 11 февраля 2013. Landsat 8 получает изображения в видимом диапазоне волн, в ближнем ИК и в дальнем ИК, с разрешением снимков 15 метров, 30 метров и 100 метров (панхроматический канал, мультиспектральный канал и дальний ИК соответственно) [1].

Дешифрирование водных и наземных объектов проводилось как в прибрежной так и в высокогорной зоне бассейна оз. Иссык-Куль. В качестве картографируемых объектов в прибрежной зоне были выбраны: само озеро Иссык-Куль, подтопляемые территории и застроенные территории (места массовых застроек). В высокогорной зоне объектами дешифрирования были высокогорные озера и ледники.

Основными исходными данными при проведении данной работы послужили изображения спутника Дистанционного Зондирования Земли (ДДЗ) - Landsat 8 (с сайта Геологической Службы США USGS - <https://earthexplorer.usgs.gov/>), а так же Цифровая Модель Рельефа, с разрешением 30 метров, построенная по данным радиометра ASTER, расположенного на транснациональном научно-исследовательском спутнике TERRA (с сайта Национального Аэрокосмического Агентства США NASA - <http://earthdata.nasa.gov/>).

Методология

В процессе дешифрирования, исходные изображения Landsat 8, были преобразованы в изображения формата GeoTIF композиции RGB с различными комбинациями каналов. Для дешифрирования наземных объектов была использована комбинация 4,3,2 - "естественные цвета" в которой используются каналы видимого диапазона, поэтому объекты земной поверхности выглядят так, как они воспринимаются человеческим глазом. Для водных объектов была использована комбинация 5,6,4 - ближнего, среднего ИК-каналов и красного видимого канала, позволяющая четко

различать границу между водой и сушей и выделить скрытые детали, плохо видимые при использовании только каналов видимого диапазона. Далее, разрешение полученных изображений было увеличено с помощью 8-го панхроматического канала. Эти преобразования были выполнены в программном комплексе ENVI 4.6.1. Картографирование и расчет морфометрических характеристик объектов проводились в ГИС MapInfo Professional 7.8.

Следует отметить, что картографирование проводилось в оригинальной проекции спутниковых изображений UTM - проекция Меркатора (WGS 84). При этом, для минимизации ошибок связанных с конвертацией исходных материалов из одной проекции в другую, привязка топографических карт происходила не по координатным сеткам в оригинальной проекции, как это принято при стандартной процедуре привязки в ГИС, а методом корегистрации данных материалов со спутниковыми снимками Landsat в проекции UTM.

Первым объектом для картографирования, с целью оценки площади озера Иссык-Куль, стала его береговая линия. Площадь озера является очень важным параметром при оценке испарения с акватории, теплозапасов, преобразования прибрежной территории и как следствие влияние озера на климатическую и экологическую обстановку в его бассейне [6].

В качестве следующих объектов исследования были выбраны подтопляемые территории вдоль береговой линии озера Иссык-Куль. Данные водные объекты возникают в результате подпора озером грунтовых вод и являются следствием поднятия уровня озера Иссык-Куль в настоящее время [7] (рис. 2.3.7.1).

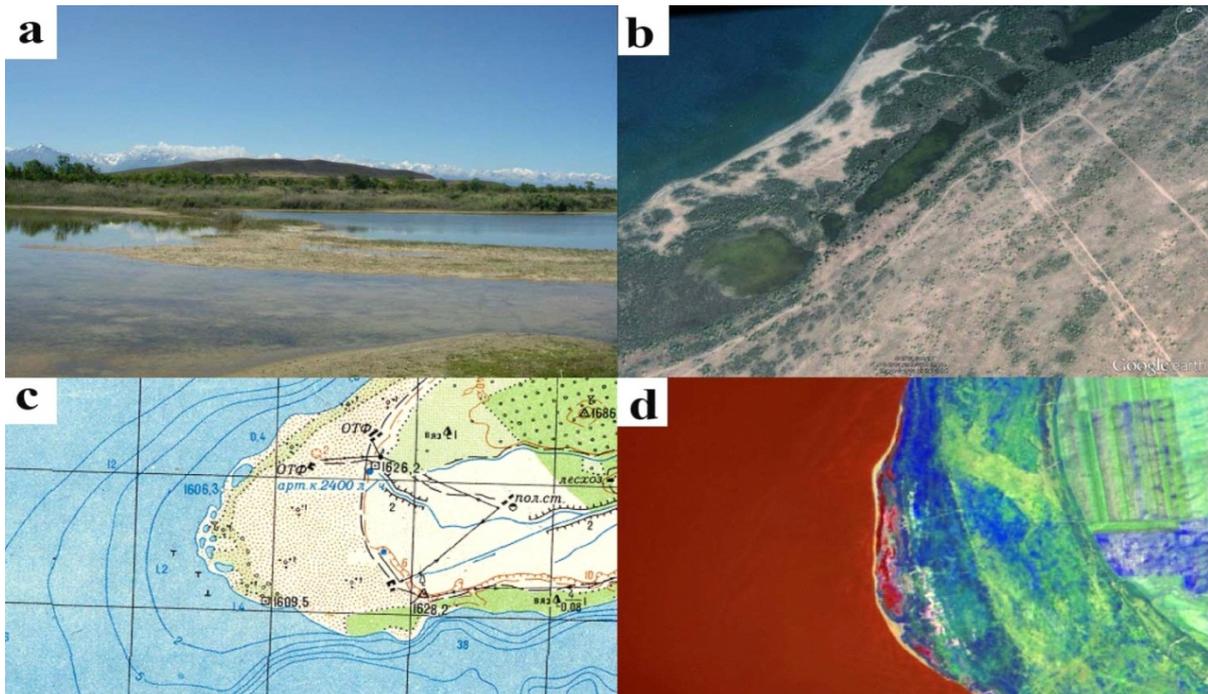


Рис. 2.3.7.1. Подтопляемые территории вдоль береговой линии озера Иссык-Куль: а - фото из интернета; б - снимок в Google Earth; с - топографическая карта; д - снимок Landsat 8.

Следующие объекты картографирования - застроенные территории: населенные пункты и пансионаты. При этом использовались не отдельно стоящие строения и группы строений, а массовые застройки, которые довольно точно идентифицируются на спутниковых изображениях Landsat.

В высокогорной части бассейна озера Иссык-Куль, в первую очередь, было произведено дешифрирование высокогорных озер на склонах Кунгей и Терской Ала-Тоо. В связи с современным потеплением климата и отступанием ледников, развитие таких озер происходит на всей территории Республики и нередко прорывы таких озер приводят к катастрофическим последствиям. Работы по отслеживанию динамики высокогорных озер в Кыргызской Республике проводятся Инженерно-геологической партией Кыргызской комплексной гидрогеологической экспедиции. Проведение такого рода работ с помощью полевых методов и вертолетных облетов, безусловно, требует больших людских и финансовых ресурсов, но однозначно необходимо для предупреждения чрезвычайных ситуаций. При этом, методы дистанционного зондирования земли могут быть широко использованы в подготовке к проведению таких работ и постоянному мониторингу ситуации в данной области. Определения месторасположения высокогорных озер, а также формирование базы данных характеристик этих озер, производилось по спискам и каталогам Министерства Чрезвычайных Ситуаций [5].

В результате картографирования береговой линии озера Иссык-Куль были получены следующие морфометрические характеристики озера: площадь акватории озера - 6 206 км², длина береговой линии 673,2 км на сфере. В работе В.А. Кузьмиченка [4], автор оценивает площадь акватории озера по состоянию на середину 1968 г. как 6 249,4 км² приняв высоту уреза воды при этом 1 607,6 м н.у.м. Из этой же работы следует что при падении уровня озера на один метр (при урезе 1 606,6 м н.у.м.) площадь его акватории будет равняться 6 203,14 км². Учитывая что на 30 июля 2013 г. отметка уреза воды была 1 606,9 м н.у.м., и площадь при этом 6 206 км², можно заключить что картографирование береговой линии озера Иссык-Куль по спутниковым снимкам Landsat 8 вполне приемлемо для целей мониторинга таких морфометрических параметров озера как площадь его акватории и длина береговой линии.

Основная часть подтопленных территорий находится вдоль восточной части береговой линии озера Иссык-Куль, в меньшей мере такие территории встречаются вдоль западной и северной частей, в то время как вдоль южной части береговой линии озера такие территории практически отсутствуют, что очевидно связано с наблюдаемыми здесь большими уклонами местности. Картографирование таких территорий по снимкам Landsat показало, что на 2013 год количество таких объектов составило 192, а их площадь составила - 2,87 км², тогда как на топографических картах 1986 года, такие открытые водные объекты отмечены лишь в районе с. Покровка и их количество составляет 13 объектов, а общая площадь - 0,17 км². Несмотря на различные источники информации, используемые для анализа, очевидно что число и площадь подтопленных территорий увеличивается с поднятием уровня воды озера Иссык-Куль и это может негативно отразится на прилегающей к

озеру территории (разрушение песчаных пляжей, деградация прибрежной растительности, подтопление жилых и хозяйственных объектов и т.д.). В свою очередь видно, что снимки Landsat вполне пригодны для мониторинга таких территорий и могут быть использованы для оценки масштабов и локализации подтоплений.

Сравнение дешифрованных по спутниковым изображениям застроенных территорий с аналогичными территориями на топографических картах 70-х годов масштаба 1:100 000 показало следующие результаты. Массовые застройки территории наблюдаются по всему периметру озера Иссык-Куль, наибольшее число таких застроек с 70-х годов прошлого века по настоящее время произошло на северном берегу озера, в центральной части (в районе г. Чолпон-Ата). В таблице 2.3.7.1 приведены наиболее значимые увеличения застроенных территорий по населенным пунктам.

В связи с увеличением численности населения Иссык-Кульской области (таб. 2.3.7.2), увеличение застроенных территорий, увеличением числа частных пансионатов и домов отдыха, а следовательно и усилением антропогенной нагрузки на экологию озера и прилегающую территорию, необходимо проводить плановый мониторинг данных территорий при котором использование спутниковых изображений наилучшим образом дает представление о текущем распределении земель.

Табл. 2.3.7.1. Изменение площади застроенных территорий с 70-х годов прошлого века по настоящее время по некоторым населенным пунктам бассейна оз. Иссык-Куль

название нас. пункта	площадь застроенных территорий в 70-х годах прошлого века	площадь застроенных территорий в августе 2013 г.
г. Каракол	18,70 км ²	21,38 км ²
г. Балыкчы	13,26 км ²	17,64 км ²
с. Барскаун	3,02 км ²	4,54 км ²
с. Дархан	2,67 км ²	4,54 км ²
с. Бостери	2,03 км ²	3,33 км ²
г. Чолпон-Ата	1,77 км ²	4,70 км ²
с. Корумду	1,09 км ²	1,58 км ²
с. Ичкесу	0,77 км ²	1,29 км ²
с. Сары-Камыш	0,40 км ²	1,29 км ²

Таб. 2.3.7.2. Численность постоянного населения Иссык-Кульской области по данным переписи населения Национального Статистического Комитета КР

	1959	1970	1979	1989	1999	2013
численность (человек)	233 729	314 386	350 634	403 917	413 149	453 384

По результатам картографирования высокогорных озер бассейна озера Иссык-Куль была сформирована цифровая карта озер с базой данных в которую вошла информация из каталогов МЧС, а также информация полученная при картографировании данных объектов.

Всего по спутниковым изображениям Landsat 8 на 2013 г. в высокогорной части бассейна озера Иссык-Куль выявлено 472 озера, в каталоге МЧС за 2012 г. таких озер - 165. Такая значительная разница связана как с возникновением новых озер, так и с тем, что в каталог МЧС занесены прорывоопасные озера, в данной работе при обработке спутниковых изображений картографировали все высокогорные озера, дешифрируемые на снимках.

По результатам картографирования высокогорных озер и их верификации по другим спутниковым изображениям, можно сделать вывод что, определение их местоположения производится достаточно точно, но для практического применения в области оценки их типа, точного определения площади и мониторинга их развития, необходимы спутниковые изображения более высокого разрешения.

Дешифрирование водных и наземных объектов в прибрежной и в высокогорной зоне бассейна оз. Иссык-Куль по спутниковым снимкам Landsat 8 показало довольно хорошие результаты и может применяться для целей широкомасштабных исследований и в других регионах.

Уточнение морфометрических характеристик озера Иссык-Куль, и определение подтопляемых территорий по периметру озера, представляют определенный научный интерес для целей оценки его водного баланса, климатических изменений в его бассейне, а также экологических обстановки в данном регионе.

Приведенные данные по увеличению площадей застроенных территорий с 70-х годов прошлого века по настоящее время по некоторым населенным пунктам бассейна оз. Иссык-Куль, также представляют большой интерес для исследований в области социально-экономических, миграционных и экологических вопросов.

Создание каталогов и геобаз данных, высокогорных озер и ледников бассейна оз. Иссык-Куль, несомненно имеет как теоретические так и практические аспекты применения.

Следующим шагом в данном направлении может стать более детальное исследование представленных объектов с применением другой спутниковой и наземной информации, а также распространение данных исследований на другие регионы исследования.

Литература:

- <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>
- *Randolph Glacier Inventory: A Dataset of Global Glacier Outlines, Version: 2.0, 11 June 2012. // GLIMS Technical Report, 2012. -32 с.*
- *Каталог ледников СССР, том 14, вып. 2, ч. 5, Ленинград: Гидрометеоиздат, 1976. - 92 с.*
- *Кузьмиченок В.А. «Расчет некоторых детальных морфометрических характеристик озера Иссык-Куль» // Изучение гидродинамики озера Иссык-Куль с использованием изотопных методов, Часть 1, Бишкек: Илим, 2005. с. 64-80.*
- *Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (Изд. 8-е с изм. и доп.), Б.: МЧС КР, 2011.*
- *Шабунин А.Г. Гидродинамические процессы озера Иссык-Куль и их роль в формировании экологической обстановки в его бассейне. // Дисс. канд. тех. наук, Бишкек, 2006. - 106 с.*
- *Шабунин Г.Д., Шабунин А.Г. Изменения климата на Иссык-Куле и возможные будущие изменения уровня воды в нем. // Труды НИГМИ, 2010, вып. 12(257), с. 117-127.*

2.4 Исследование воздействия горного предприятия «Макмал» на экологическую обстановку

Проект Европейской Комиссии «ЕО-Miners» был направлен на интегрирование новых и уже существующих методов наземного наблюдения для накопления позитивного опыта в области горного дела, а также для сокращения негативного влияния горной промышленности на окружающую среду и социальную жизнь, путем реализации следующих мероприятий:

- Внедрение инновационных методов дистанционного зондирования в горную промышленность;
- Обеспечение точности и качества продуктов дистанционного зондирования;
- Демонстрирование применения методов наземного наблюдения на различных практических примерах;
- Развитие диалога между горной индустрией и экологическими организациями, основанного на результатах наблюдений за поверхностью земли;
- Обобщение полученных результатов, для их использования в дальнейшей оперативной деятельности горной промышленности.

Главной целью данного проекта являлась разработка механизмов наблюдения за поверхностью Земли с целью проведения мониторинга и наблюдения за

воздействием на окружающую среду и общество в результате разведки и разработки минеральных ресурсов.

Проект прежде всего был сосредоточен на усовершенствовании специализированных программ и разработок по выбранным наглядным участкам по всему миру. Были применены новые подходы в совместной обработке различных наборов данных путем различного объединения. Определенные алгоритмы объединения и обработки данных были испытаны и/или разработаны на данном этапе, учитывая условия участка и различные тематические требования, определенные горнодобывающими компаниями и геологическими службами. Ряд GIS тематических карт, выпущенных в результате данных разработок, использовались для оценки следа и анализа степени риска. Например, карта степени оценки риска от возможного прорыва дамбы хвостохранилища (Рис.2.4.1).

Для осуществления целей проекта было выбрано три тестовых участка:

- В Европе, участки в густонаселенных районах: Лигнитовый-буроугольный карьер Соколов, расположенный в Чешской республике
- Трудно-эксплуатируемые участки в Южной Африке: Месторождения каменного угля Witbank, провинция Mpumalanga, Южная Африка
- В Кыргызстане: Макмальский золото-добывающий комбинат ОАО «Кыргызалтын».

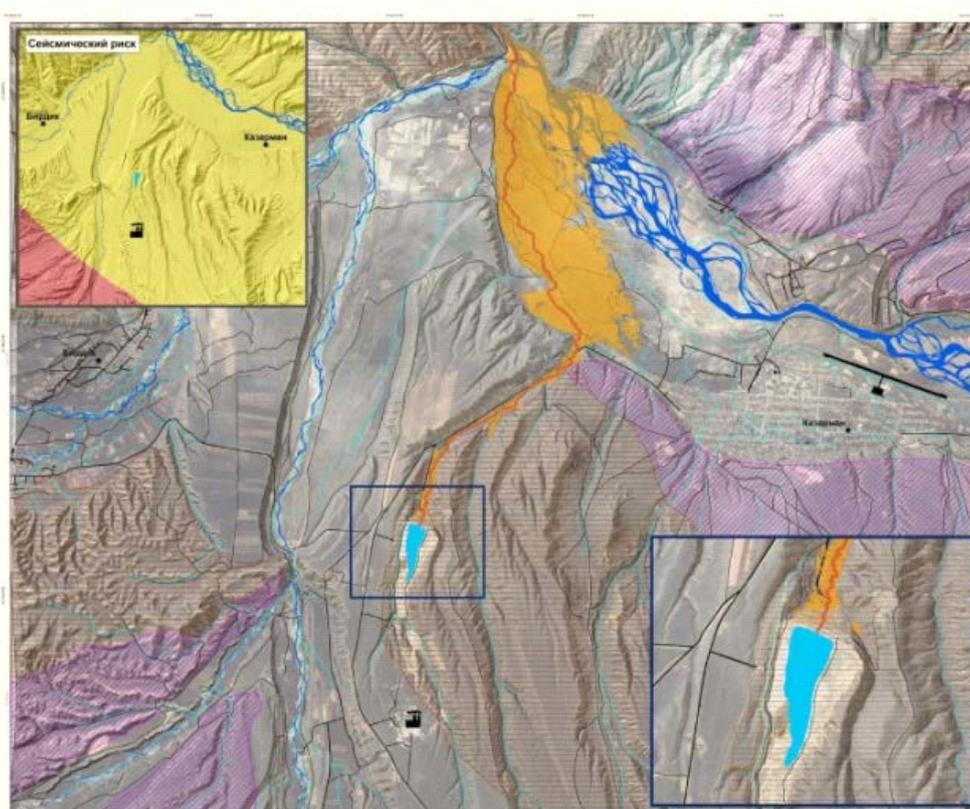


Рис 2.4.1. Карта степени оценки риска от возможного прорыва дамбы хвостохранилища

Данные три участка позволили изучить следующие проблемы с особым вниманием на снижение экологического следа горной промышленности, начиная от изыскательных

работ до полного восстановления. В рабочих пакетах проекта уделялось особое внимание проведению полевых работ для получения достоверной информации о демонстрационных участках.

Объект исследований. Объектом исследования в Кыргызстане является влияние Макмальского золото - перерабатывающего комбината с одноименного месторождения на геоэкологическое состояние окружающей среды и водных ресурсов. Процесс добычи золота основан на методе кучного выщелачивания с использованием токсичных материалов (цианида натрия) и последующим складированием продуктов переработки на хвостохранилище комбината.

Актуальность исследования. Кыргызстан – одна из ведущих горнодобывающих стран Центральной Азии. Она занимает одно из первых мест в мире по количеству добываемого золота. В настоящее время горная промышленность нашей страны является одним из важнейших факторов ее экономического развития.

Разработка месторождений полезных ископаемых сопряжена с антропогенным воздействием на окружающую среду. Особенно сильно оно проявляется в горнопромышленных регионах с крупными запасами минерального сырья и соответственно с высокой концентрацией горного производства. Таким районом является Тогуз – Тороуская впадина, Джалал – Абадской области.



Рис 2.4.2. Полевые работы

Начиная с 50-х годов прошлого столетия масштабы добычи и переработки минерального сырья в стране постоянно росли, а соответственно увеличивались темпы и масштабы деградации ландшафтов, загрязнения окружающей среды и других негативных последствий горного производства. Этим обстоятельством обусловлена актуальность геоэкологической оценки и разработки эффективной системы мониторинга с использованием современных ГИС-технологий от воздействия горной промышленности на экогеосистему, а главное воздействие продуктов деятельности предприятий на трансграничные водные ресурсы.

Для получения достоверных данных в работе использовались как полевые методы отбора проб (Рис. 2.4.2), так и ГИС методы интерпретации результатов, как например рассеивание цианидов в районе по результатам химического анализа (Рис. 2.4.3). Специалисты ЦАИИЗ с их зарубежными коллегами выполняли поставленные задачи во всех областях исследований.

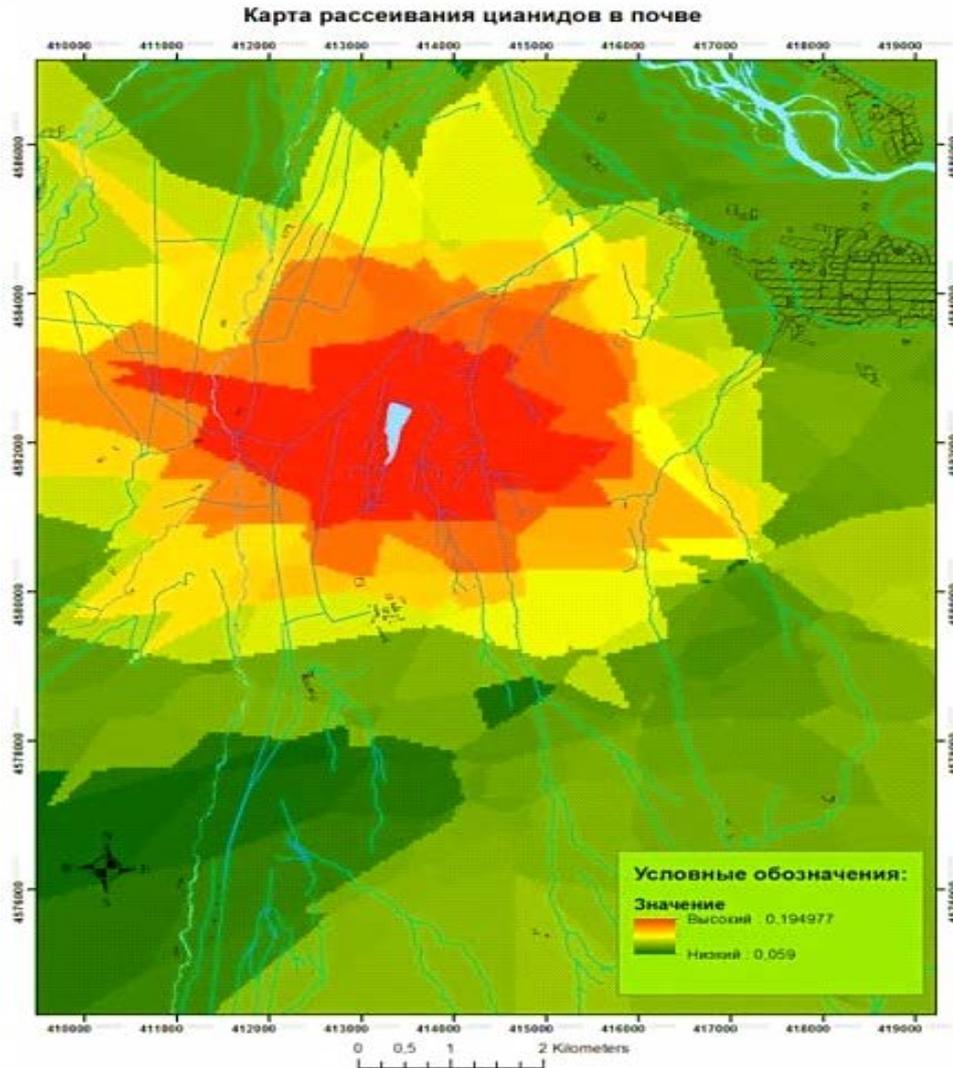


Рис 2.4.3. ГИС методы интерпретации рассеивания

Цель исследовательской работы на хвостохранилище Макмальского золото-перерабатывающего комбината заключался в разработке методов и инструментов, которые помогают облегчить и улучшить взаимодействие между горнодобывающей промышленностью и обществом посредством использования методов и инструментов, основанных на наблюдениях за Землей (НЗ).

Эти методы позволяют объективно оценивать потенциальные экологические и социально-экономические последствия в течение всего срока работы горнодобывающего объекта, от разведки до окончательного закрытия. Полученные продукты (результаты) помогут сделать процесс принятия решений более прозрачным. Они будут поддерживать прозрачность между горнодобывающей промышленностью, регулирующими органами и другими заинтересованными

сторонами, такими как местные сообщества и неправительственные организации (НПО). Важно отметить, что предоставление комплексной геоинформации (например, интерактивные карты), увеличивают способность общественности в их обсуждениях заинтересованными сторонами, у которых есть различные профессиональные навыки и различный уровень базовых знаний. Все это было достигнуто за счет интеграции различных обработанных наборов данных в отдельные продукты НЗ в совместном международном проекте Наблюдения за земной поверхностью для оценки экологического и социального воздействия со стороны добывающей промышленности (EO-Miners).

Цели работ также заключались в использовании ГИС инструментов, с целью помочь определить связанные с горнодобывающей деятельностью масштабы воздействия на окружающую среду и общество. Это, в свою очередь, способствовало сокращению и улучшению общественного восприятия горнодобывающих проектов и связанных с ними видов деятельности.

Для достижения этой цели, необходимо было добиться объективности и точности собранного материала. Чтобы отвечать этим критериям, данные собираются с использованием методов дистанционного зондирования и интегрируются с информацией, собранной на местах.

Следует отметить, что научные данные в рамках проекта EO-MINERS были собраны и представлены только по району вокруг комбината «Макмалзолото» рядом с поселком Казарман и вокруг дамбы хвостохранилища. Таким образом, все представленные продукты НЗ отражают ситуацию вокруг района одного золотодобывающего комбината (золотоизвлекательной фабрики).

В результате исследований выполнено следующее:

- геоэкологическая оценка антропогенного воздействия с применением ГИС-технологий;
- экологическая оценка деятельности горнорудного предприятия;
- практически достоверно установлено отсутствие связи заболеваемости населения с деятельностью предприятия;

Основываясь на геоэкологической оценке воздействия горнодобывающей промышленности мы определили уровень антропогенного на различных участках Тогуз – Тороуского района и смогли показать, что деятельность ЗРК Макмал не представляет серьезной угрозы для здоровья населения. На рисунке показаны места отбора проб почвы и воды (Рис. 2.4.4).

Практическое значение работы заключается в том, что разработанные специализированные ГИС карты и программное обеспечение позволяет оперативно производить оценку антропогенного воздействия, проводить его комплексный мониторинг. Все это выступать в качестве мощного инструмента при принятии управленческих решений, разработке региональных природоохранных мероприятий. Мониторинговые разработки и специализированное программное обеспечение будут

переданы в ОАО Кыргызалтын и Макмал - золото для дальнейшего контроля за состоянием окружающей среды и водных объектов района.

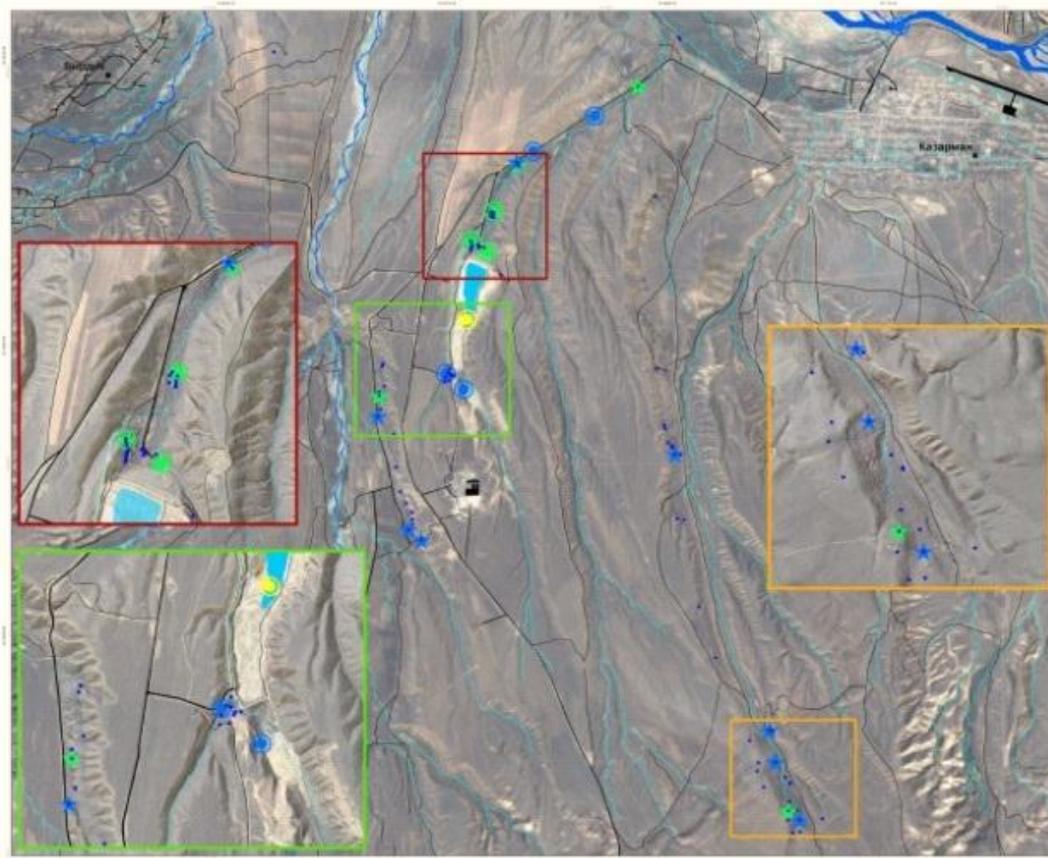


Рис 2.4.4. Места отбора почв и воды в районе ЗРК Макмал

На основе анализа состояния земельных, минерально-сырьевых, водных ресурсов, качества атмосферы, деятельности предприятий установлен оптимизированный набор факторов и показателей, влияющих на состояние экосистем.

Результаты исследований деятельности горнодобывающего предприятия показали что:

- отсутствует негативное влияния комбината на окружающую среду;
- корреляция между заболеваемостью населения и деятельностью комбината не была статистически доказана;

Разработана структура базы данных экологической геоинформационной системы.

Разработана система комплексного мониторинга с применением ГИС технологии для эффективного экологического контроля деятельности комбината Макмал – золото ОАО Кыргызалтын.

ГЛАВА 3. МОНИТОРИНГ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

За 10 лет своего становления ЦАИИЗ активно развивал современные сети наблюдений за изменениями окружающей геосреды на территории Кыргызстана и других государств Центральной Азии.

Созданные сети мониторинга являются междисциплинарными и включают сейсмические, метеорологические, гидрологические, геодезические наблюдения. Многие станции наблюдений установлены в районах, где ранее инструментальные исследования не проводились.

3.1. Система мониторинга

Центрально-Азиатский регион отличается резко-континентальным климатом, высокогорным рельефом, многочисленными реками, маловодными и безводными пустынями. Для горного региона характерна высокая тектоническая активность. Активная геодинамика и изменчивость климата вызывают широкое развитие эндо- и экзогенных опасных процессов. Все это приводит к стихийным бедствиям и катастрофам: разрушительным землетрясениям с катастрофическими последствиями, оползням, обвалам, селям, наводнениям, засухам. В результате страдают люди, нарушается инфраструктура. Поэтому создание системы мониторинга, которая бы отслеживала опасные природные процессы в режиме квазиреального времени, жизненно необходимо для расположенных в данном регионе государств.

С момента своего создания усилия ЦАИИЗ были направлены на построение именно такой системы мониторинга, предназначение которой - сбор, обработка и получение разнородной информации о состоянии природной среды, необходимой для проведения исследований о происходящих природных процессах и бедствиях, возможности их прогнозирования.

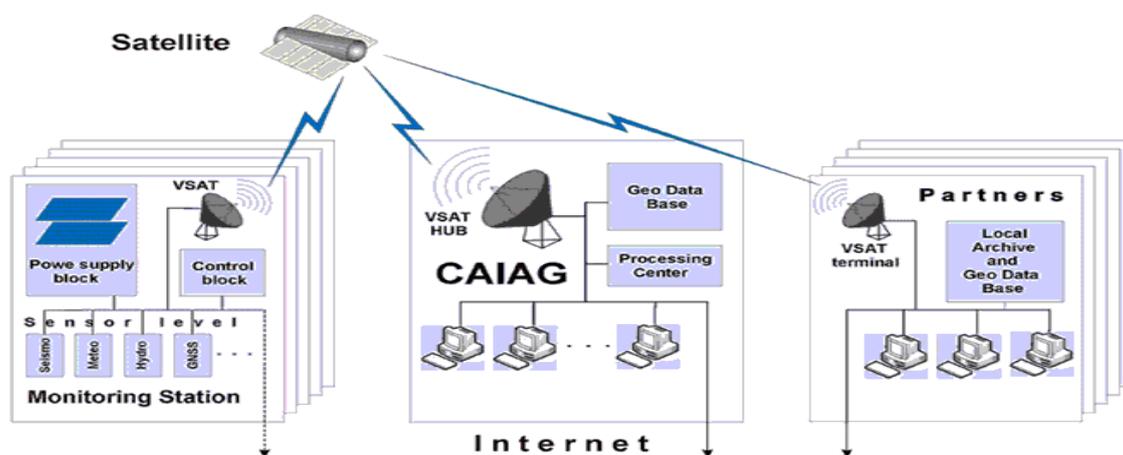


Рис.3.1.1. Концептуальная схема системы мониторинга ЦАИИЗ.

Концептуальная схема системы мониторинга ЦАИИЗ показана на рис. 3.1.1.

Система состоит из:

1. Сети стационарных станций с набором различных измерительных сенсоров (GNSS, сейсмо, гидро-, метео) и средств внутренней коммуникации.
2. Системы управления станциями мониторинга и сбора данных.

Система мониторинга нацелена на получение данных со станций наблюдения по каналам спутниковой или сотовой связи, либо Интернет в реальном или квазиреальном режиме времени, проведение оперативного анализа поступающей информации, идентификации возникающих чрезвычайных ситуаций, ввода данных в базу геоданных в соответствии с predetermined иерархией классов данных.

Типовая станция мониторинга состоит из подсистем: питания, коммуникации, управления станцией и включает набор различных датчиков, состав которых может меняться в зависимости от назначения станции. Система питания выполнена на основе солнечных панелей и включает аккумуляторы и блок управления солнечными панелями.

Состав системы коммуникации может варьировать в зависимости от места расположения станции. В удаленных горных условиях, где отсутствует всякая связь с внешним миром, устанавливаются дистанционные спутниковые каналы связи - VSAT системы с 1.8 м антенной. Как показала практика, такая система устойчиво работает при любых погодных условиях как для одиночных, так групп станций. Группа представляет собой небольшую сеть расположенных вблизи друг от друга станций, связанных между собой радио каналами. Одна из станций имеет в своем составе VSAT, через которую вся группа передает данные во внешний мир. В районах, где имеется сотовая связь, для передачи данных используются GSM модемы. А к станциям, расположенным в больших городах, обычно подводится Интернет.

Система управления станцией часто базируется на промышленном компьютере, собранном на плате PC-104. В функции системы входит контроль и управление отдельными частями станции, в том числе их временное отключение на заданный промежуток времени для экономии электроэнергии, съем данных с датчиков и передача их в центр сбора. В качестве сенсоров могут использоваться сейсмометры, GNSS приемники, различные метеорологические и гидрологические датчики. Их сочетание меняется в зависимости от поставленных задач.

Система управления станциями мониторинга и сбора данных включает каналы связи и центр сбора и управления. Применялись два варианта сбора данных: активный и пассивный. В случае активного варианта станции самостоятельно пересылают данные в центр сбора по мере их возникновения, в пассивном случае - специальные программы в центре сбора поочередно опрашивают станции и собирают новую информацию.

3.1.1. Исследовательская мониторинговая сеть.

Первые станции мониторинга ЦАИИЗ были установлены в 2008 году. С тех пор сеть непрерывно развивалась и к 2014 году охватывала территории 3 Центрально-Азиатских государств: Кыргызстана, Таджикистана и Узбекистана. Ее состояние на конец 2014 года представлено в таблице 3.1.1 и на рис.3.1.2.

Таблица 1.1. Список станций сети мониторинга ЦАИИЗ

№	Наименование	К-во станций	Год установки	Измеряемые параметры	Проект	Местоположение
1	Абрамова, ледник (ABRA)	1	2011	Метео, GNSS	CAWa	Кыргызстан
2	Алайский профиль (ALAI, ALA1, ALA2, ALA3)	4	2013	GNSS	ЦАИИЗ+GFZ	Кыргызстан
3	Айвадж (AYVA)	1	2012	Метео, GNSS	CAWa	Таджикистан
4	Аксай (ASAI)	1	2009	Метео, GNSS, Сейсмо	GCO	Кыргызстан
5	Арсланбоб (ARSL)	1	2009	GNSS	НП ЦАИИЗ	Кыргызстан
6	Бишкек (BIK0)	1	2006	GNSS	ЦАИИЗ+GFZ	Кыргызстан
7	Дупули (DUPU)	1	2012	Метео, Гидро, GNSS	CAWa	Таджикистан
8	Голубина, ледник (GOLU)	1	2013	Метео, GNSS	CAWa	Кыргызстан
9	Кара-Баткак (KRBK)	1	2008	GNSS	НП ЦАИИЗ	Кыргызстан
10	Кереге-Таш (KRGT)	1	2008	GNSS	НП ЦАИИЗ	Кыргызстан
11	Кокомерен (KEKI)	1	2010	Метео, Гидро, NSS	CAWa	Кыргызстан
12	Майданак (MADK)	1	2012	Метео, GNSS	CAWa	Узбекистан
13	Мерцбахер (MRZ1, MRZ2, MRZ3, ICED)	4	2009	Метео, GNSS, Сейсмо	GCO	Кыргызстан
14	Суфи-Коргон (SUFI)	1		Сейсмо	Каремон	Кыргызстан
15	Тарагай (TARA)	1	2008	Метео, GNSS, Сейсмо	CAWa	Кыргызстан
16	Таш-Комур (TKUM)	1	2009	GNSS	НП ЦАИИЗ	Кыргызстан
17	Майдантал (MTAL)	1	2014	Метео, Гидро, GNSS	CAWa	Узбекистан

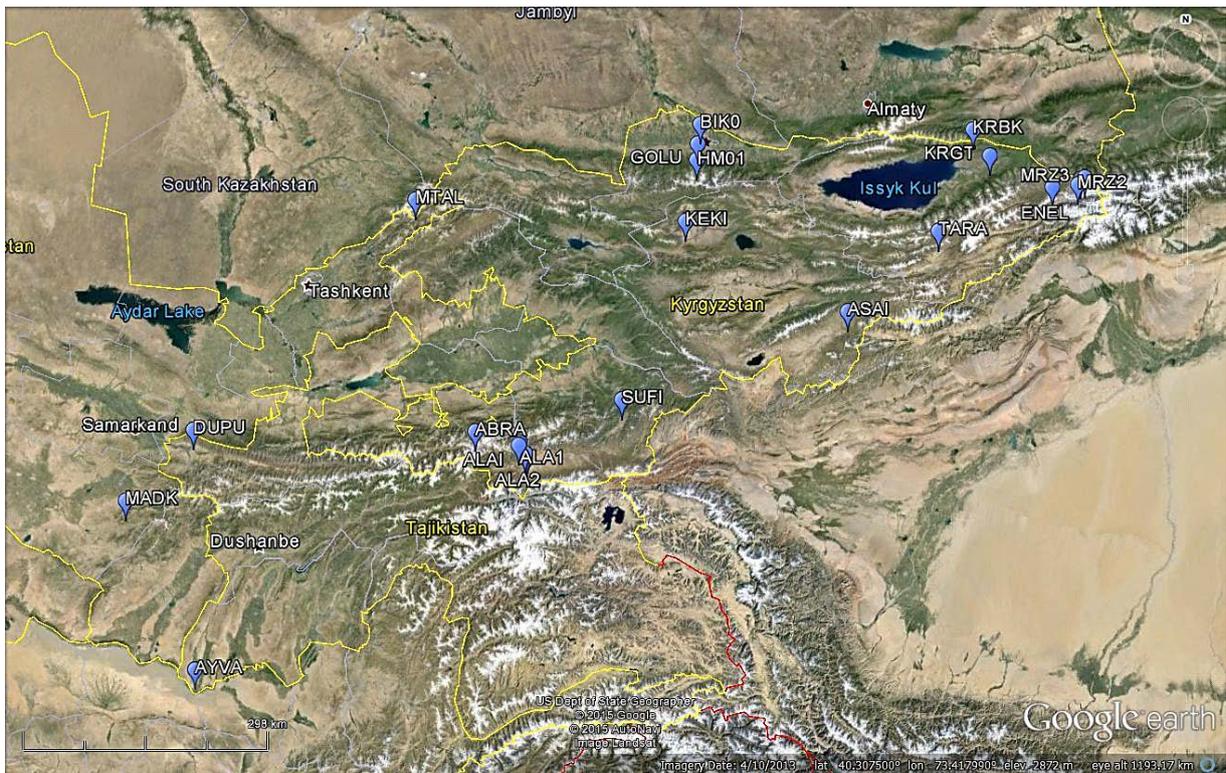


Рис. 3.1.2. Расположение станций сети мониторинга ЦАИИЗ в Центральной Азии.

3.1.2. Сейсмомониторинг

Сейсмомониторинг осуществляется как собственными станциями ЦАИИЗ, так и станциями других сейсмологических сетей.

Три сейсмические станции ЦАИИЗ были установлены в 2008-2009 году в рамках проекта “Модельная система мониторинга опасных явлений в квазиреальном режиме времени”. Это станции Тарагай (TARG), Аксай (ASAI) и Мерцбахер-1 (MRZ1), оснащенные широкополосными сейсмометрами STS-2, дигитайзерами Earth Data PS6-SC. Данные архивируются в формате miniseed на компьютере PC-104, в котором для съема и обработки сейсмологических данных в квази-реальном режиме времени установлено программное обеспечение SeisComP версии 2.1.

После съема данные передаются через спутниковое соединение VSAT на сервер ЦАИИЗ. На всех станциях для привязки службы точного времени используются GPS антенны фирмы Trimble.

В рамках проекта «CASCADE» - «Трансграничное предотвращение стихийных бедствий в Центральной Азии» 2009 году Центром исследования Земли (GFZ), Потсдам, Германия установлено несколько сейсмических станций, одна из которых Суфикурган (SUF1) была передана ЦАИИЗ. Сейсмостанция SUFI оснащена широкополосным сейсмометром CMG-3ESP, акселерометром CMG-5T и дигитайзером CMG-DM24S6. Данные хранятся на даталогере CMG-EAM и также передаются дистанционно через VSAT. Для сбора данных используется программа Scream.

В центре сбора и обработки ЦАИИЗ установлено серверное программное обеспечение SeisComP3. Сначала данные поступает в сервер сбора сейсмических данных, где происходит автоматическая обработка, накопление и обмен данными с другими институтами и международными центрами. С сервера данные одновременно поступают на 2 рабочие станции: 1) для отображения сейсмической информации и 2) ее ручной обработки.

SeisComP3 - пакет программ для сбора, хранения и обмена сейсмологическими данными в квази-реальном режиме времени с использованием Интернет. Программный пакет SeisComP3 обеспечивает функции сбора и хранения данных, контроль их качества, регистрацию и обмен данными в реальном режиме времени, контроль статуса сети, автоматическую обработку данных в реальном времени с возможностью ручной обработки, объявление тревоги по событию, архивирование волновых форм, распределение данных волновых форм, автоматическое обнаружение события и определение его местоположения, интерактивное обнаружение события и определение его местоположения, архивирование параметров события, свободный доступ к соответствующей информации о станциях, волновых формах и последних землетрясениях (рис.3.1.3).

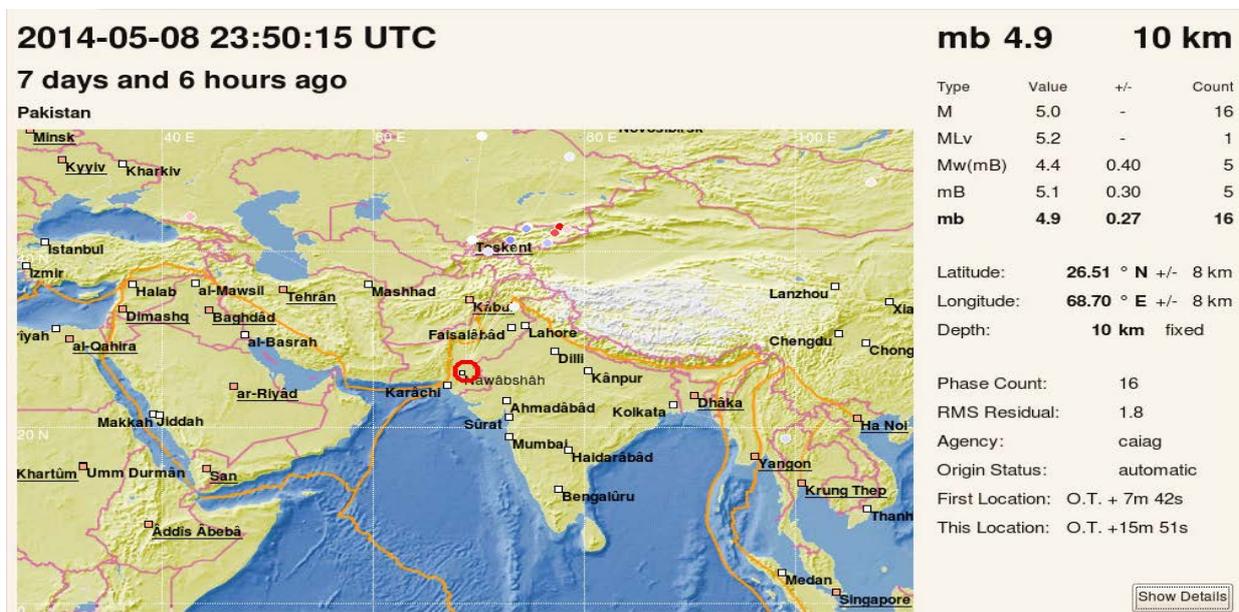


Рис. 3.1.3. Пример сообщения о сейсмическом событии программой SeisComP-3.

Программа SeisComP3 определяет автоматически следующие магнитуды: ML, MJ, mb, mB, Mw (mB), M wp, Mw (M wp). Для уведомления о произошедших землетрясениях в SeisComP-3 включена “система оперативного оповещения”, отвечающая за почтовую рассылку в режиме он-лайн. Ее основная цель заключается в обеспечении заинтересованных организаций, учёных и гражданского населения в быстрой и достоверной информации.

С 2011 г. ЦАИИЗ принят в члены глобальной организации FDSN (The International Federation of Digital Seismograph Networks) (Международная Федерация Цифровых

Сейсмических Сетей). Членство в вышеуказанной организации даёт возможность свободно обмениваться сейсмическими данными внутри этой сети. Как результат, ЦАИИЗ получает информацию от более чем 30 сейсмических станций, входящих в сеть FDSN в режиме реального времени и использует их для обработки землетрясений.

Для ручной обработки сейсмических данных применяется программа SEISAN, рекомендованная GFZ в рамках образовательной программы IASPEI. Программа SEISAN может использоваться для обработки местных, региональных и удаленных землетрясений. SEISAN позволяет вводить параметры фаз; локализовать события; редактировать полученные параметры событий; определять спектральные характеристики, сейсмический момент, азимут вступления для 3-х компонентных станций; получать графическое представление эпицентров. Для расширения возможностей SEISAN в нее включен ряд программ исследовательского типа, таких как кода Q, синтетическое моделирование, а также полная система определения сейсмической опасности (Havskov and Ottemoller, 1999).

По результатам обработки первоначально составляются два каталога землетрясений. Один – на основе комплекса SeisComP, где оператор анализирует автоматический каталог и, в случаях большого разброса исходных данных, производит ручную пикировку фаз. Для второго каталога просматриваются непрерывные потоки волновых форм и, в случае обнаружения записей землетрясений, не лоцированных программой SeisComP, эти записи вырезаются и обрабатываются программой SEISAN. В данный каталог попадают слабые события, амплитуды колебаний от которых ниже пороговых значений для срабатывания автоматической локации. Данные двух каталогов затем соединяются в один.

3.1.3. Гидро-метеомониторинг

Гидрометеорологический мониторинг осуществляется автоматическими станциями. Система сбора и первичной обработки метеорологической и гидрологической информации через определенные временные интервалы собирает информацию по каналам спутниковой связи и представляет ее в удобном виде. Система гидрометеорологического мониторинга в режиме квазиреального времени контролирует такие параметры как температура и влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, количество выпавших жидких осадков, температура и влажность почвы, наблюдения за солнечным излучением и другие.

Большая часть сети гидро-метеомониторинга: Байтик (HM01), ледник Голубина (GOLU), Тарагай (TARA), Енылчек (ENEL), Аксай (ASAI), Кокомерен (KEKI), ледник Абрамова (ABRA), Дупули (DUPU), Айвадж (AYVA), Майданак (MADK), Майдантал (MTAL) оборудована метеостанциями ROMPS (Remotely Operated Multi-Parameter Stations) [T. Schöne, 2013] и установлена в рамках проектов CAWa и GCO-CA совместно GFZ и ЦАИИЗ.

ГЛАВА 3. МОНИТОРИНГ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Станции управляются центральным компьютером на базе PC-104. Имеется также устройство, называемое менеджером батарей, которое включает / отключает отдельные устройства, в том числе и компьютер по заданной программе. Для сбора данных от метео-сенсоров используется регистратор данных CR1000 фирмы Campbell Scientific. На каждой станции установлены 2 спутниковые коммуникационные системы: основная VSAT для передачи данных в центр сбора и вспомогательная Iridium для управления станцией при аварийных ситуациях. Питание устройств обычно осуществляется от шести 120 ваттных солнечных панелей и 6 гелиевых аккумуляторов по 240 а.ч. каждый.

В число сенсоров входят:

- датчик атмосферного давления (Barometric Pressure Transducer, модель 278, Setra, USA);
- датчик температуры и относительной влажности воздуха (Temperature & Relative Humidity Probe HMP45, Vaisala, Finland);
- датчик солнечной радиации (Net Radiometer NR01, Hukseflux, Netherlands);
- измеритель осадков (Tipping Bucket Rain Gauge 52203, RM Young, USA);
- измеритель скорости и направления ветра (Wind Monitor 05103, RM Young, USA), установленный на 10 метровой мачте;
- датчики температуры почвы (Soil Temperature Sensor 107, Campbell Scientific, UK);
- датчики влажности почвы (Soil Water Content Reflectometer CS616, Campbell Scientific, UK);
- GNSS приемник (Topcon GB-1000 или Septentrio NV AsteRx2e), антенна которого обычно монтируется на металлическую трубу.

На ряде станций установлены устройства для измерения водного эквивалента снега (Snow Pack Analyzing System - SPA, Sommer, Austria).

При наличии вблизи станции реки с мостом, на нем устанавливаются датчики расхода воды в реке (Discharge System RQ-24, Sommer, Austria), соединенные с основной станцией радиомодемным каналом (рис. 3.1.4).

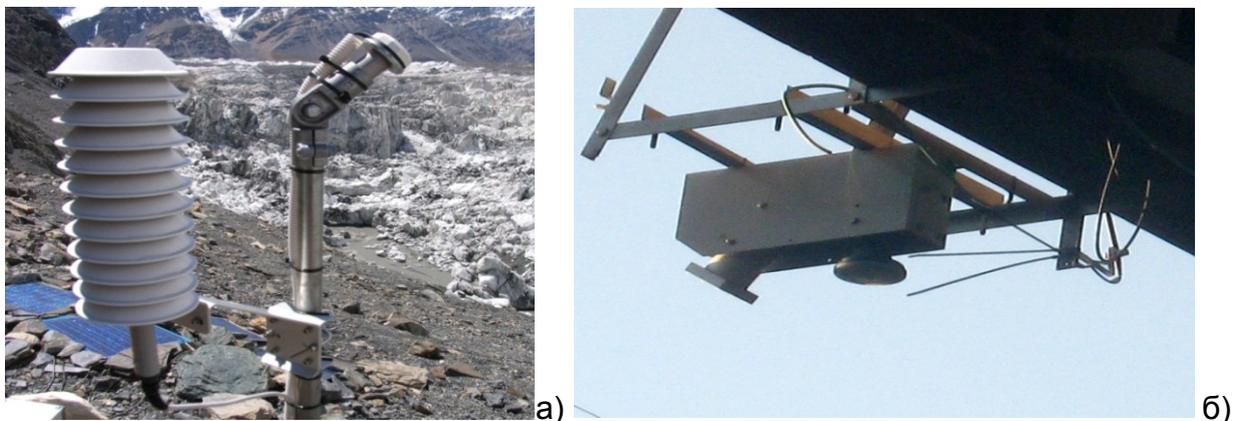


Рис. 3.1.4. Метеосенсоры на леднике Енильчек (а) и доплеровский измеритель расхода воды в Дупули (б).

Сеть гидрометеорологического мониторинга охватывает территории Таджикистана (DUPU и AYVA), Узбекистана (MADK, MTAL) и Кыргызстана - остальные станции. На станции Бишкек (BIK0) используется метеостанция Vaisala.

Значения из базы данных для любого измеренного параметра и любой станции с помощью Системы хранения сенсорных данных (SDSS) можно вывести на график (рис. 3.1.5).

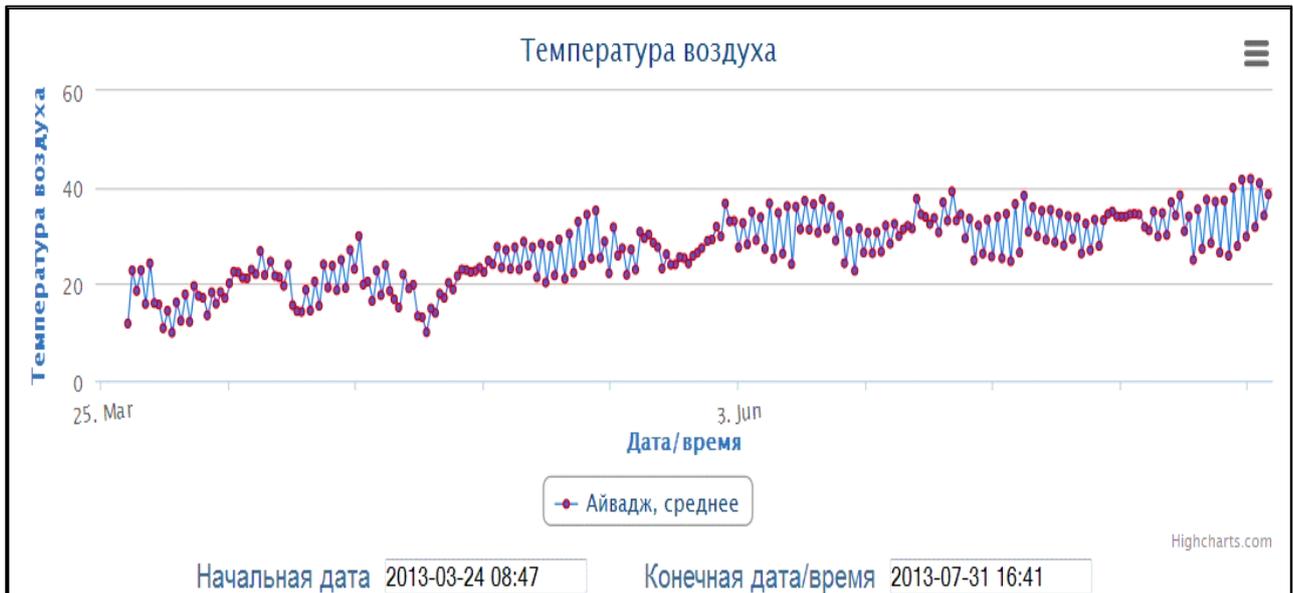


Рис. 3.1.5. Пример вывода графика температуры воздуха для станции Айвадж.

3.1.4. GNSS мониторинг

Выполненные ранее работы по GNSS наблюдениям на территории Кыргызстана, Казахстана и Таджикистана выявили на поверхности Земли значительные региональные неоднородности поля скоростей и поля деформаций (рис. 3.1.6) [Зубович А. В., 2010].

Их хорошая согласованность с геологическими структурами (например, соответствие направлений главных осей деформаций простираению хребтов и межгорных впадин, соответствие зон повышенных деформаций разломным зонам, соответствие основных параметров поля деформаций по данным GNSS параметрам сеймотектонических деформаций) приводит к выводу, что пространственное распределение деформаций на поверхности Земли закономерно и стабильно длительное время. Поэтому, продолжение региональных измерений в режиме кампаний для территории Центральной Азии, которые применялись до сих пор для определения поля скоростей и деформаций, вряд ли может дать больше информации по сравнению с тем, что уже есть. Поэтому, основные усилия ЦАИИЗ в части GNSS мониторинга были направлены на развитие сети постоянных станций, которые, кроме уже имеющегося статического распределения поля деформаций по площади, могут дать детальную деформационную картину во времени.

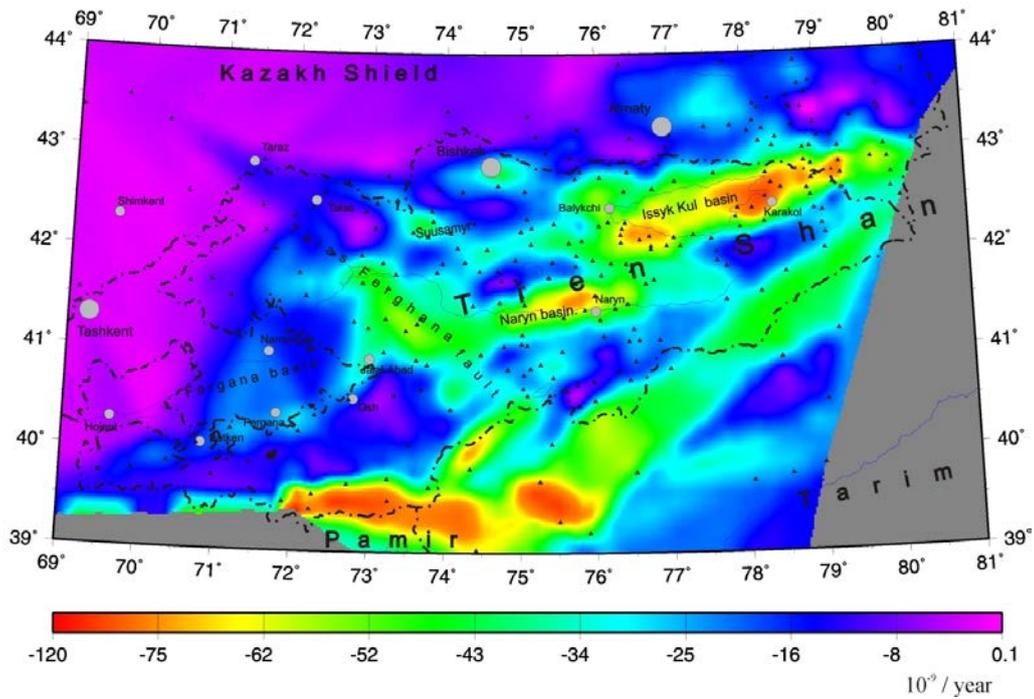


Рис. 3.1.6. Поле скорости деформаций (максимального укорочения) Тянь-Шаня.

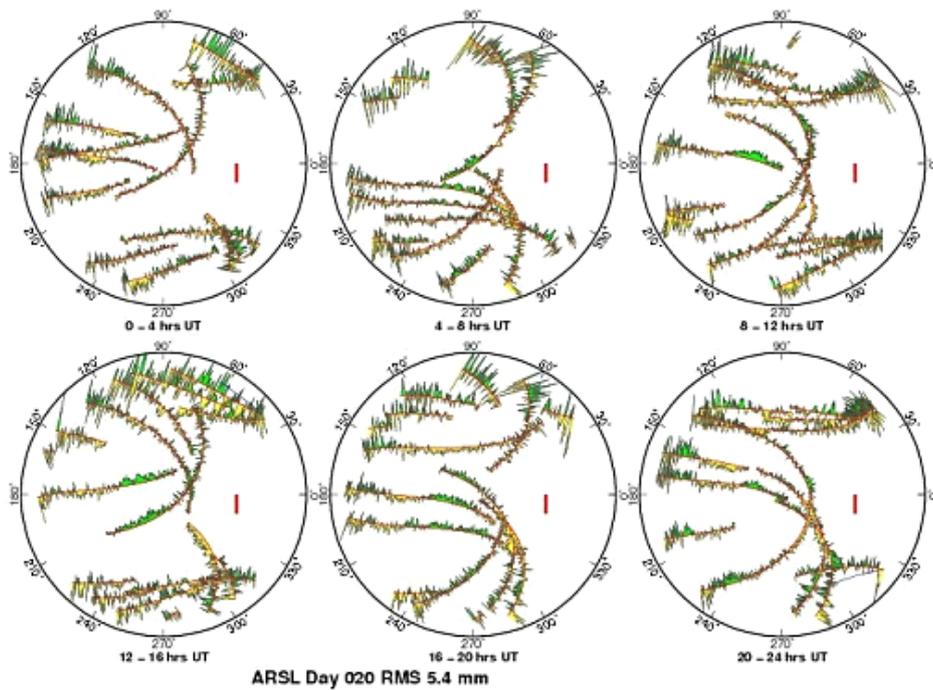


Рис. 3.1.7. Карта неба для станции Арсланбоб, показывающая погрешности измерения для каждого наблюдаемого спутника вдоль траектории их движения.

GNSS мониторинг осуществляется всеми станциями сети (кроме станции Суфикурган), показанными на рис. 3.1.2. и в таблице 3.1.1 все станции оборудованы двухчастотными и двухсистемными GNSS приемниками, информация с которых автоматически передается через средства коммуникации (Интернет, спутниковая, радиомодемная и GSM связь) в центр сбора данных ЦАИИЗ, записывается в файл-сервер, а мета-информация заносится в базу данных. Информация о поступлении

GNSS данных отображается на Web-сервере ЦАИИЗ. Обработка GNSS данных осуществляется пакетом GAMIT/GLOBK Массачусетского Технологического Института США [Herring, 2004; King and Bock, 2004].

Для GNSS станций проведен анализ качества измеряемых данных, на основании которого можно судить о качестве выбора места установки станций. Для всех станций построены «карты неба» (рис. 3.1.7), представляющие собой погрешности измерений вдоль траекторий движения спутников за каждые 4 часа. Для всех из них среднеквадратические отклонения находятся в допустимых пределах. Это означает, что станции имеют незначительный шумовой фон, приемники и антенны работают исправно, переотражения сигнала от окружающих предметов не наблюдается или они незначительны.

3.2. Информационные системы и базы геоданных.

В ЦАИИЗ выполнен ряд проектов для различных организаций и ведомств, решающих задачи обеспечения пространственными и непространственными данными, геообработки, цифрового картографирования и использования их для эффективного планирования и управления предприятиями, оценки прогноза рисков стихийных бедствий.

Реализация проектов производилась с привлечением технологий геоинформационных систем, баз данных, веб-картографирования и прикладного программирования.

При выборе программных компонентов, предпочтение отдавалось OpenSource программным продуктам, как из финансовых соображений, так и по тем обстоятельствам, что они более свободны от корпоративных обязательств и более привержены к соблюдению международных стандартов по форматам данных и протоколам обмена данными. Так, используемая во всех рассматриваемых ниже проектах технология веб-картографирования, основанная на стандартах Open Geospatial Consortium (OGC), предоставляет сервисы, позволяющие обмениваться данными между OGC-серверами и совместно использовать их для создания общих картографических проектов, доступных всему интернет сообществу.

Базы геоданных на основе СУБД PostgreSQL и PostGIS, так же являющиеся OpenSource продуктами, не уступают по производительности и функциональным возможностям таким коммерческим продуктам, как Informix, MS SQL Server или ArcGIS Server, и сфера их применения все время расширяется.

Использование в единой связке баз геоданных на PostgreSQL/PostGIS и веб-картографических сервисов, основанных на стандартах OGC, позволило с наименьшими затратами получить конструкцию, обеспечивающую эффективность, оперативность и функциональность создаваемых на ее основе систем хранения, распространения и обмена пространственными данными.

3.2.1. Система хранения сенсорных данных.

Система хранения сенсорных данных (SDSS) предназначена для размещения данных от датчиков станций системы мониторинга ЦАИИЗ, передаваемых через Интернет и по каналам спутниковой, GSM и другой радио связи. Система хранения сенсорных данных представляет собой хранилище на основе базы данных PostgreSQL и служащей для управления им. Прототипом SDSS является система SOS (сервис сенсорных наблюдений - <http://www.opengeospatial.org/standards/sos>), которая создана для широкого круга задач и может использоваться для хранения практически любых сенсорных данных. Но как любой инструмент слишком общего применения, он не учитывает специфику отдельных данных, что и предопределило разработку собственной Системы хранения сенсорных данных. Достоинством SOS, которое перешло также и в SDSS, является жесткая структура базы данных (фиксированное количество таблиц), которая не изменяется при добавлении в нее новых сенсоров, станций, параметров измерений.

Центральное место в SDSS занимают "Временные ряды". Временной ряд - это временная последовательность измерений одного "Измеряемого параметра" (например, температуры) на одной "Станции" в заданной трехмерной точке "Устройством" с заданным серийным номером определенной "Модели" в указанных "Единицах измерения". Если условия измерений меняются (например, заменяется датчик или меняется его местоположение), то один ряд завершается и начинается другой. Часто одно измерительное устройство, идентифицируемое своим серийным номером, может содержать в себе несколько сенсоров, измеряя таким образом несколько параметров одновременно (например, температуру и относительную влажность воздуха). Такие временные ряды объединены в блоки (рис. 3.2.1.).

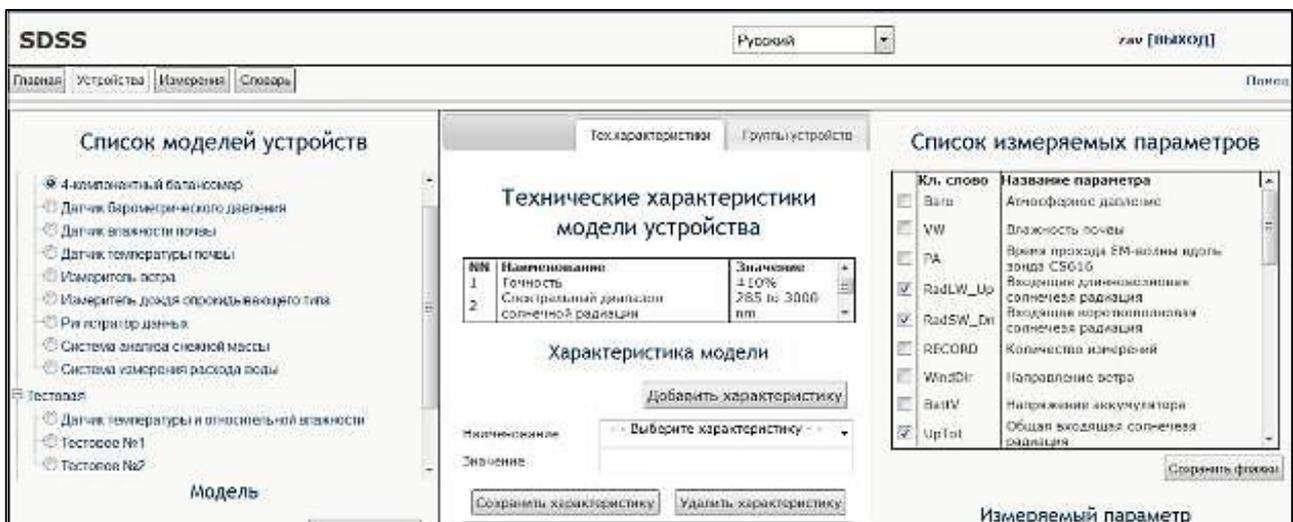


Рис.3.2.1. Вид страницы для обработки измерительных приборов

Управление SDSS осуществляется специальной программой, доступной через Web-интерфейс и состоящей из нескольких страниц-модулей. SDSS - мультязычная система, позволяющая работать на любом из языков мира. Для перевода системы на

ГЛАВА 3. МОНИТОРИНГ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

требуемый язык имеется страница "Словарь". Она позволяет любому, знающему русский или английский и свой национальный язык, легко перевести на него все надписи программы. SDSS также позволяет иметь на различных языках и подписи к данным: мета информацию, названия полей и т.д.

Страница "Измерения" предназначена для работы с временными рядами (рис. 3.2.2.), критерии фильтрации которых задаются на левой панели данной страницы. Правая панель используется для отображения и редактирования блоков и их параметров.

Список измерительных параметров

№№	Кодированное название	Название свойства
1	Atm	Атмосферное давление
2	WV	Влажность воздуха
3	PK	Качество приема GSM сигнала в точке доступа GSM
4	WV_W_1st	Влажность воздуха в первом слое атмосферы
5	WV_W_2nd	Влажность воздуха во втором слое атмосферы
6	WV_W_3rd	Влажность воздуха в третьем слое атмосферы
7	WV_W_4th	Влажность воздуха в четвертом слое атмосферы
8	WV_W_5th	Влажность воздуха в пятом слое атмосферы
9	WV_W_6th	Влажность воздуха в шестом слое атмосферы
10	WV_W_7th	Влажность воздуха в седьмом слое атмосферы
11	WV_W_8th	Влажность воздуха в восьмом слое атмосферы
12	WV_W_9th	Влажность воздуха в девятом слое атмосферы
13	WV_W_10th	Влажность воздуха в десятом слое атмосферы
14	WV_W_11th	Влажность воздуха в одиннадцатом слое атмосферы
15	WV_W_12th	Влажность воздуха в двенадцатом слое атмосферы
16	WV_W_13th	Влажность воздуха в тринадцатом слое атмосферы
17	WV_W_14th	Влажность воздуха в четырнадцатом слое атмосферы
18	WV_W_15th	Влажность воздуха в пятнадцатом слое атмосферы
19	WV_W_16th	Влажность воздуха в шестнадцатом слое атмосферы
20	WV_W_17th	Влажность воздуха в семнадцатом слое атмосферы
21	WV_W_18th	Влажность воздуха в восемнадцатом слое атмосферы
22	WV_W_19th	Влажность воздуха в девятнадцатом слое атмосферы
23	WV_W_20th	Влажность воздуха в двадцатом слое атмосферы
24	WV_W_21st	Влажность воздуха в двадцать первом слое атмосферы
25	WV_W_22nd	Влажность воздуха в двадцать втором слое атмосферы
26	WV_W_23rd	Влажность воздуха в двадцать третьем слое атмосферы
27	WV_W_24th	Влажность воздуха в двадцать четвертом слое атмосферы
28	WV_W_25th	Влажность воздуха в двадцать пятом слое атмосферы
29	WV_W_26th	Влажность воздуха в двадцать шестом слое атмосферы
30	WV_W_27th	Влажность воздуха в двадцать седьмом слое атмосферы
31	WV_W_28th	Влажность воздуха в двадцать восьмом слое атмосферы
32	WV_W_29th	Влажность воздуха в двадцать девятом слое атмосферы
33	WV_W_30th	Влажность воздуха в тридцатом слое атмосферы
34	WV_W_31st	Влажность воздуха в тридцать первом слое атмосферы
35	WV_W_32nd	Влажность воздуха в тридцать втором слое атмосферы
36	WV_W_33rd	Влажность воздуха в тридцать третьем слое атмосферы
37	WV_W_34th	Влажность воздуха в тридцать четвертом слое атмосферы
38	WV_W_35th	Влажность воздуха в тридцать пятом слое атмосферы
39	WV_W_36th	Влажность воздуха в тридцать шестом слое атмосферы
40	WV_W_37th	Влажность воздуха в тридцать седьмом слое атмосферы
41	WV_W_38th	Влажность воздуха в тридцать восьмом слое атмосферы
42	WV_W_39th	Влажность воздуха в тридцать девятом слое атмосферы
43	WV_W_40th	Влажность воздуха в сороковом слое атмосферы
44	WV_W_41st	Влажность воздуха в сорок первом слое атмосферы
45	WV_W_42nd	Влажность воздуха в сорок втором слое атмосферы
46	WV_W_43rd	Влажность воздуха в сорок третьем слое атмосферы
47	WV_W_44th	Влажность воздуха в сорок четвертом слое атмосферы
48	WV_W_45th	Влажность воздуха в сорок пятом слое атмосферы
49	WV_W_46th	Влажность воздуха в сорок шестом слое атмосферы
50	WV_W_47th	Влажность воздуха в сорок седьмом слое атмосферы

Список блоков измерений

№№	ID	Имя	Станция	Высота	Нач. время	Кон. время
1	05	Atm	Atm1	2	2007-03-11 00:00:00	2009-12-31 00:00:00
2	230	Atm	Atm1	2	2008-01-31 22:30:00	2009-12-31 23:59:59
3	1134	Atm	Atm1	2	2008-01-31 22:30:00	2009-12-31 23:59:59
4	205	Atm	Atm1	2	2008-01-31 22:30:00	2009-12-31 23:59:59
5	592	Atm	Atm1	2	2011-08-03 10:14:00	2009-12-31 23:59:59
6	43	Atm	Atm1	2	2011-08-28 08:00:00	2009-12-31 00:00:00
7	358	Atm	Atm1	2	2012-06-02 00:00:00	2009-12-31 23:59:59
8	1	Atm	Atm1	2	2012-07-04 00:00:00	2009-12-31 23:59:59
9	177	Atm	Atm1	2	2012-09-26 00:00:00	2009-12-31 23:59:59
10	305	Atm	Atm1	2	2014-04-05 00:00:00	2009-12-31 23:59:59
11	672	Atm	Atm1	2	2014-08-28 08:00:00	2009-12-31 23:59:59
12	102	Atm	Atm1	2	2007-02-11 00:00:00	2009-12-31 00:00:00
13	236	Atm	Atm1	2	2008-01-31 22:30:00	2009-12-31 23:59:59
14	150	Atm	Atm1	2	2008-01-31 22:30:00	2009-12-31 23:59:59
15	280	Atm	Atm1	2	2008-01-31 22:30:00	2009-12-31 23:59:59
16	614	Atm	Atm1	2	2011-08-03 10:14:00	2009-12-31 23:59:59
17	60	Atm	Atm1	2	2011-08-28 08:00:00	2009-12-31 00:00:00
18	373	Atm	Atm1	2	2012-06-02 00:00:00	2009-12-31 23:59:59
19	18	Atm	Atm1	2	2012-07-04 00:00:00	2009-12-31 23:59:59

а)

Список моделей устройств

№№	Имя	Название
1	WV1	4-компонентный барометрический датчик
2	J78	Датчик барометрического давления
3	CS616	Датчик влажности почвы
4	WV1425C	Датчик температуры и относительной влажности
5	107	Датчик температуры почвы
6	05103	Измеритель ветра
7	52103	Измеритель дождя
8	SK1000	определяющего землетрясения датчик
9	SL4	Система анализа снежной массы
10	WV-24	Система измерения расхода воды

Список блоков измерений

№№	ID	Имя	Станция	Высота	Нач. время	Кон. время
1	05	Atm	Atm1	2	2007-03-11 00:00:00	2009-12-31 00:00:00
2	1134	Atm	Atm1	2	2008-01-31 22:30:00	2009-12-31 23:59:59
3	205	Atm	Atm1	2	2008-01-31 22:30:00	2009-12-31 23:59:59
4	230	Atm	Atm1	2	2008-01-31 22:30:00	2009-12-31 23:59:59
5	592	Atm	Atm1	2	2011-08-03 10:14:00	2009-12-31 23:59:59
6	43	Atm	Atm1	2	2011-08-28 08:00:00	2009-12-31 00:00:00
7	358	Atm	Atm1	2	2012-06-02 00:00:00	2009-12-31 23:59:59
8	1	Atm	Atm1	2	2012-07-04 00:00:00	2009-12-31 23:59:59
9	177	Atm	Atm1	2	2012-09-26 00:00:00	2009-12-31 23:59:59
10	305	Atm	Atm1	2	2014-04-05 00:00:00	2009-12-31 23:59:59
11	672	Atm	Atm1	2	2014-08-28 08:00:00	2009-12-31 23:59:59
12	102	Atm	Atm1	2	2007-02-11 00:00:00	2009-12-31 00:00:00
13	236	Atm	Atm1	2	2008-01-31 22:30:00	2009-12-31 23:59:59
14	150	Atm	Atm1	2	2008-01-31 22:30:00	2009-12-31 23:59:59
15	280	Atm	Atm1	2	2008-01-31 22:30:00	2009-12-31 23:59:59
16	614	Atm	Atm1	2	2011-08-03 10:14:00	2009-12-31 23:59:59
17	60	Atm	Atm1	2	2011-08-28 08:00:00	2009-12-31 00:00:00
18	373	Atm	Atm1	2	2012-06-02 00:00:00	2009-12-31 23:59:59
19	18	Atm	Atm1	2	2012-07-04 00:00:00	2009-12-31 23:59:59

б)

Рис.3.2.2. Вид страницы для работы с блоками измерений (а) и с просмотром местоположения (б).

В SDSS имеется средство визуализации сенсорных данных в виде графиков, что позволяет получить более наглядное представление о характере и особенностях изменений временных рядов (рис.3.2.3.).

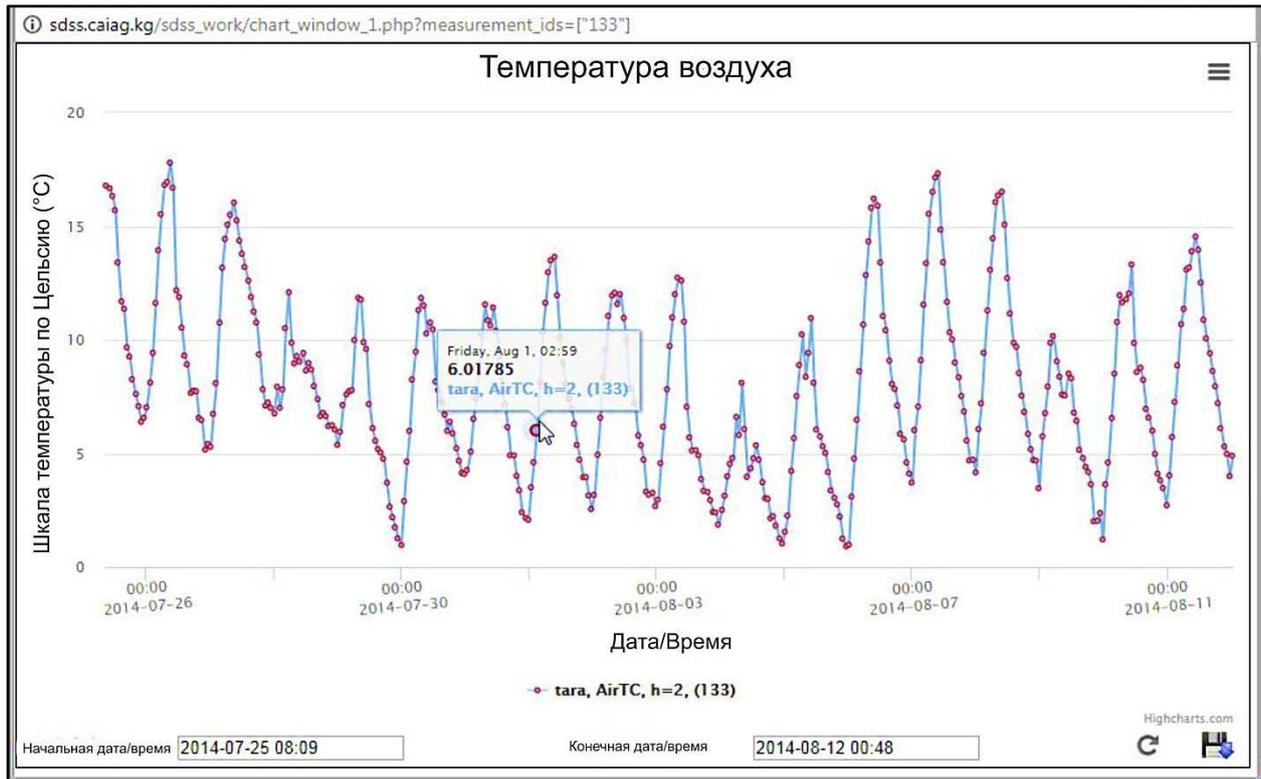


Рис.3.2.3. Графическая визуализация блоков измерений.

В настоящее время доступна версия SDSS v. 1.1 (<http://192.168.20.52/sdss>).

3.2.2. Базы геоданных.

Основой любых научных исследований является информация об объекте исследования. В случае исследования Земли - это информация о состоянии, свойствах и процессах, происходящих на Земле и внутри нее. Такая информация имеет пространственно-временную привязку и может быть представлена в виде растровых и оцифрованных топографических и тематических карт, спутниковых и аэрофотоснимков, радарных данных, различных геофизических и геодезических параметров (топографических, гравиметрических, электромагнитных, сейсмологических, метеорологических и многих других) в виде двоичных записей или таблиц. Для эффективного использования данных создаются информационные системы, центральным звеном которых являются базы геоданных (БГД).

БГД включает как региональные, так и детальные данные, накапливаемые из различных источников по мере ее развития. Топографическая основа базы определяется для различных пространственных уровней, что позволяет вводить данные различной пространственной детальности. Кроме пространственных данных БГД содержит геофизические и геодезические данные наблюдений различного уровня

обработки, зависимые от времени и получаемые от станций мониторинга или из внешних источников, таких как глобальные центры данных. БГД Центральной Азии служит точкой пересечения потоков данных от наземных станций, внешних архивов, производителей и партнеров ЦАИИЗ. С другой стороны, база является интерфейсом для доступа к информации пользователей научного сообщества.

Основное назначение БГД – хранение пространственных данных различных видов, быстрый поиск и выборка информации как локальными, так и удаленными пользователями. Авторизованный доступ к базе данных, поиск и визуализация информации производится с использованием веб-гис-технологий. Кроме атрибутивной информации БГД содержит и метаданные, описывающие эту информацию. В целом база геоданных должна стать основой для анализа и интерпретации информации об эндогенных и экзогенных процессах, происходящих в системе Земля, с акцентом на природные катастрофы и раннее оповещение в Центральноазиатском регионе.

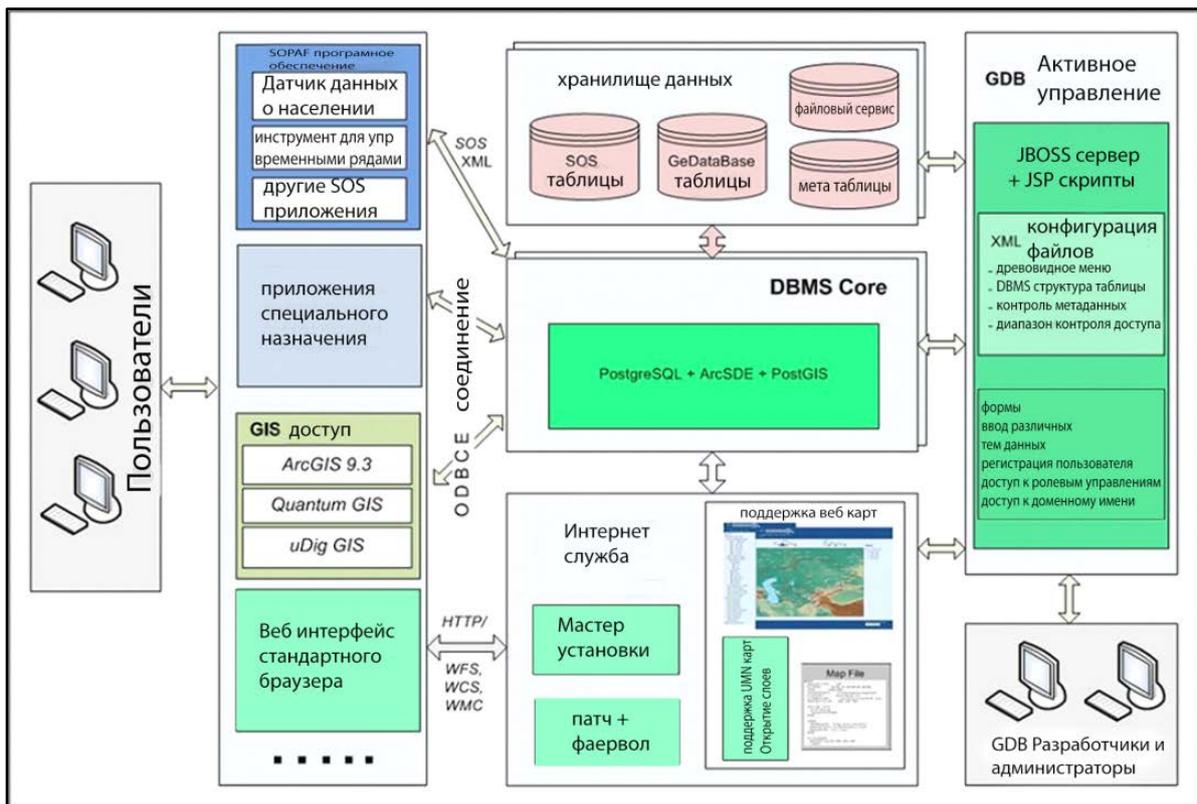


Рис. 3.2.4. Концептуальная схема базы геоданных

Схема концепции базы геоданных представлена на рис. 3.2.4. Главным принципом ее построения является: единственность данных и множество приложений. Это означает, что одни и те же данные не должны дублироваться, но может существовать множество программных приложений, использующих одни и те же данные.

Интерфейс БГД простой и интуитивно понятный. В нем содержатся инструменты и методы позволяющие задавать тематические, пространственные и временные

запросы для поиска необходимых данных, пространственную навигацию и получения основной информации по объекту щелчком мыши (Рис. 3.2.5).

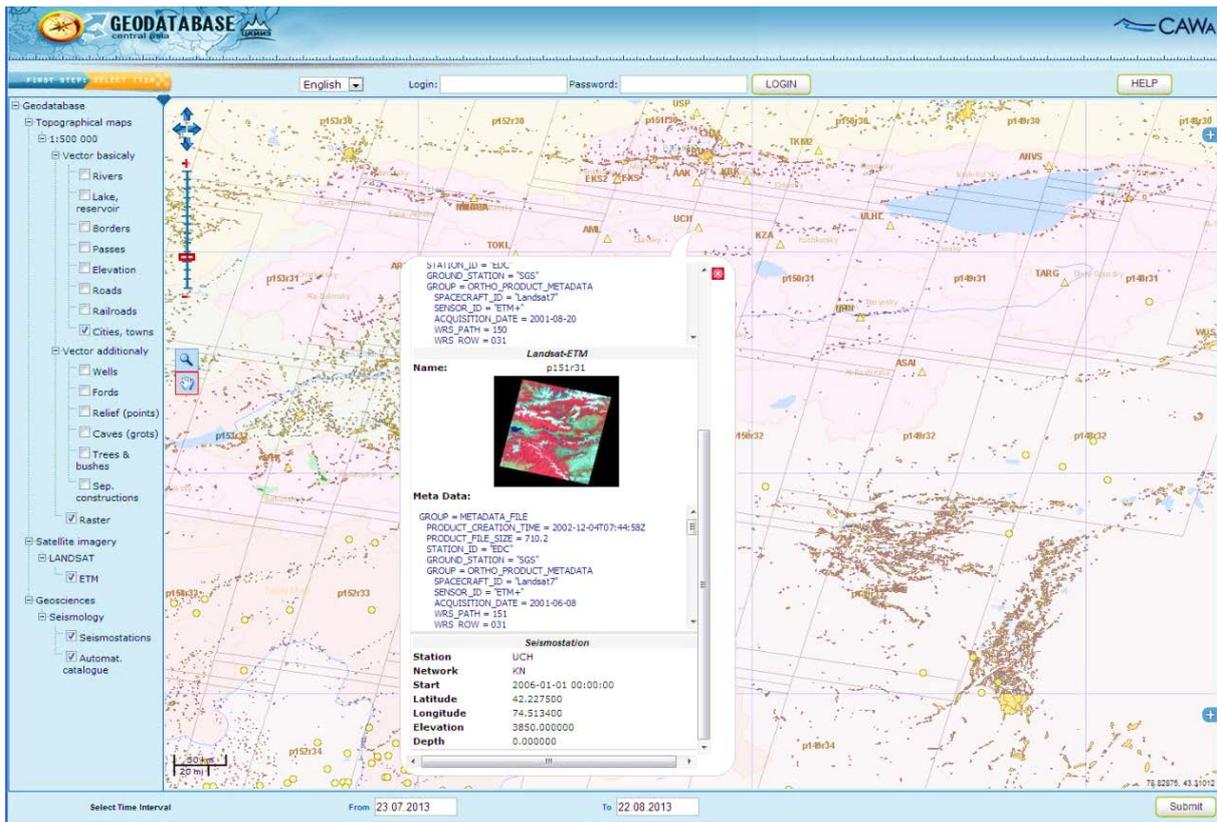


Рис. 3.2.5. Интерфейс пользователя БГД.

В настоящее время разрабатывается новая версия БГД, поддерживающая создание, редактирование и распространение интерактивных веб-карт в стандартах OGC и основанная на концепции платформы геоданных (рабочее название - JointMap). Работа с базой геоданных, опыт работы с проектами из 3-х источников, а также мировые тенденции развития и использования баз данных высветили ряд требований, которые не были предусмотрены раньше в Базе геоданных, но которых необходимо придерживаться при ее развитии. Ниже перечислены некоторые из них:

- Данные должны управляться теми, кто связан с их созданием и модификацией.
- Данные должны быть доступны в форматах общепризнанных стандартов.
- Должна существовать возможность комбинации данных из различных источников на лету.
- Система ограничений и разрешений прав доступа к данным должна быть простой, надежной, гибкой и наглядной.
- Система языков со своими словарями должна быть простой, интуитивной и гибкой
- Должна существовать максимальная децентрализация информационной системы.

Таким требованиям отвечают программно-информационные системы под общим названием Платформы данных. В отличие от Базы геоданных они имеют более дружелюбный интерфейс, меньшую централизацию и большую открытость. Любой зарегистрированный пользователь может сам заносить данные в Платформу и определять уровень доступа к своим данным для остальных. Он может самостоятельно в интерактивном режиме строить свои карты из собственных слоев или слоев, к которым у него открыт доступ (Рис. 3.2.6.). Внутренняя структура JointMap состоит из набора взаимосвязанных управляющих таблиц. В соответствие с управляющей структурой создается ее система управления, оформленная в виде web-приложений и состоящая из следующих модулей: Слой, Карта, Пользователь, Группа, График (из SDSS), Словарь.



Рис. 3.2.6. Интерфейс пользователя БГД - JointMap.

3.2.3. Геоинформационные системы в службах инженерных коммуникаций.

Геоинформационные системы - важный инструмент для эффективного планирования и управления городской инфраструктурой. Представление структуры городских инженерных коммуникаций в виде многослойных электронных карт с поддержкой семантической информации о каждом объекте структуры позволяет решать задачи принятия решений по планированию и управления намного эффективней и с лучшей оперативностью. Появляются возможности систематизации и каталогизации информации об объектах, быстрого анализа состояния и моделирования, генерации

различных отчетов и форм, модернизации и перспективного развития инфраструктуры, выполнения финансово-экономических оценок, введения новых сетей коммуникаций и многое другое.

Разработанная в рамках проекта Азиатского Банка Развития по устойчивому развитию Иссык-Куля, геоинформационная система для служб инженерных коммуникаций дает возможность более эффективно планировать и управлять системами водоснабжения и канализации (ВСК) городов Балыкчи, Чолпон-Ата и Каракол, другими городскими службами, снижая негативное воздействие городского развития на окружающую среду Иссык-Кульского биосферного заповедника.

Для выполнения проекта использовались: программные средства ArcGIS и ENVI - для создания ГИС-проекта и обработки спутниковых изображений, база геоданных на основе СУБД PostgreSQL/PostGIS, специально разработанная программа на основе QuantumGIS библиотеки – клиент базы геоданных, веб-сервер UMN MapServer для организации веб-картографических сервисов и комплект аппаратуры для высокоточной геодезической съемки TPS GB-1000 и Leica TC802.

В гг. Балыкчи, Чолпон-Ата и Каракол проведена инвентаризация активов и актуализация схем сетей служб ВСК, геодезическая съемка объектов ВСК, векторизация кадастровых и топографических карт и ввод семантической информации, и на их основе разработана геоинформационная система, позволяющая:

- Отображать, хранить, редактировать и распечатывать объекты сети ВСК, кадастровые и топографические карты, карты зонирования и землепользования, спутниковые изображения территории городов, хранящихся в серверах баз геоданных каждого города.
- Обеспечивать доступ к ГИС-проекту от клиентских приложений с правом редактирования или только просмотра с использованием веб-картографических сервисов базы геоданных с использованием существующих сетей связи.
- Обеспечивать ввод новых объектов и сетей, редактировать существующие объекты сети ВСК, осуществлять быстрый поиск, создавать различные запросы и отчеты, генерировать различные формы делопроизводства с включением фрагментов карт и семантических данных об объектах и сетях.

На этапе инвентаризации активов составлены схемы сетей коммуникаций, обновлены семантические данные, выполнена высокоточная геодезическая съемка местоположения всех объектов ВСК по 4694 точкам (г. Балыкчи – 1153, г. Чолпон-Ата – 872 и г. Каракол - 2669) с точностью около сантиметра.

Для подготовки векторных слоев цифровых карт использовались 290 растровых кадастровых и топографических карт масштаба 1:2000 (г. Балыкчи – 138, г. Чолпон-Ата – 54 и г. Каракол - 99).

Топографические карты имели 30-40 летнюю давность составления и не отражали современное состояние ландшафта и городского плана, а некоторые планшеты имели значительную изношенность. Поэтому, для актуализации цифровых карт, а также для использования в качестве основы для геопривязки растровых карт были использованы спутниковые изображения WorldView-01/02 и QuickBird-2 с высоким пространственным разрешением 0.5 - 0.6 метров и наиболее актуальным временем съемки.

После выполнения геодезической съемки произведена дополнительная коррекция геореференца спутниковых изображений и орторектификация с использованием результатов GPS съемок. Необходимость орторектификации вызвана наличием в спутниковых изображениях значительных геометрических искажений, вызванных неровностью рельефа. Наиболее важный элемент в процедуре орторектификации – цифровая модель местности была синтезирована с использованием результатов GPS съемки, высотных отметок на топографических картах и данных радиолокационных съемок – SRTM. В результате коррекции спутниковых изображений, начальная погрешность геореференца в 10-15 метров была уменьшена до метра. Геопривязка кадастровых и топографических карт производилась по скорректированным спутниковым изображениям.

Векторизация производилась по геопривязанным картам, но в случаях расхождения изображений на карте со спутниковым изображением векторизация производилась по космоснимку, как более актуальному. Всего векторизован и составлен 31 картографический слой: топография – 10 слоев, кадастры – 4 слоя, землепользование – 1 слой и объекты ВСК – 16 слоев для каждого города (Рис.3.2.7.).

Система управления активами служб водоснабжения и канализации, построенная по клиент-серверной схеме, включала в себя сервер с базой геоданных с поддержкой веб-картографической службы и клиентские узлы – «Водоканал», «Главархитектура» и «Мэрия».

Доступ к базе геоданных осуществляется двумя способами: через веб-доступ веб-обозревателем или специализированным клиентским приложением WSS-ГИС. Веб-ГИС доступ к базе данных предназначен для работы с базой только в режиме чтения. Информация отображается на экран компьютера с использованием стандартных веб-обозревателей (рис. 3.2.8.а).

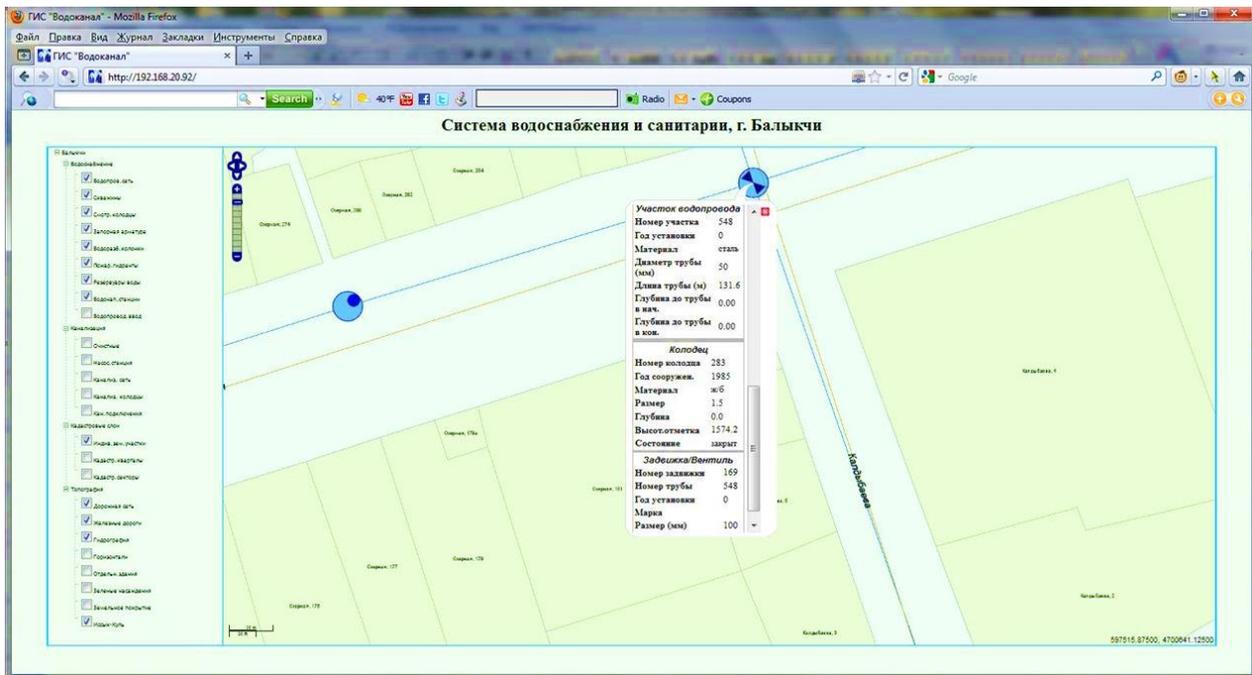
Отображаемые слои разделены на 4 тематические группы: Водоснабжение, Канализация, Кадастровые слои и Топография.

При работе с картой возможно выполнение следующих функций: включение/отключение любых слоев из списка меню для отображения их на карте, изменение масштаба и навигация по карте, отображение надписей для отдельных слоев в зависимости от масштаба карты, получение информации об отдельных объектах. Для управления базой геоданных и редактирования объектов и схем ВСК

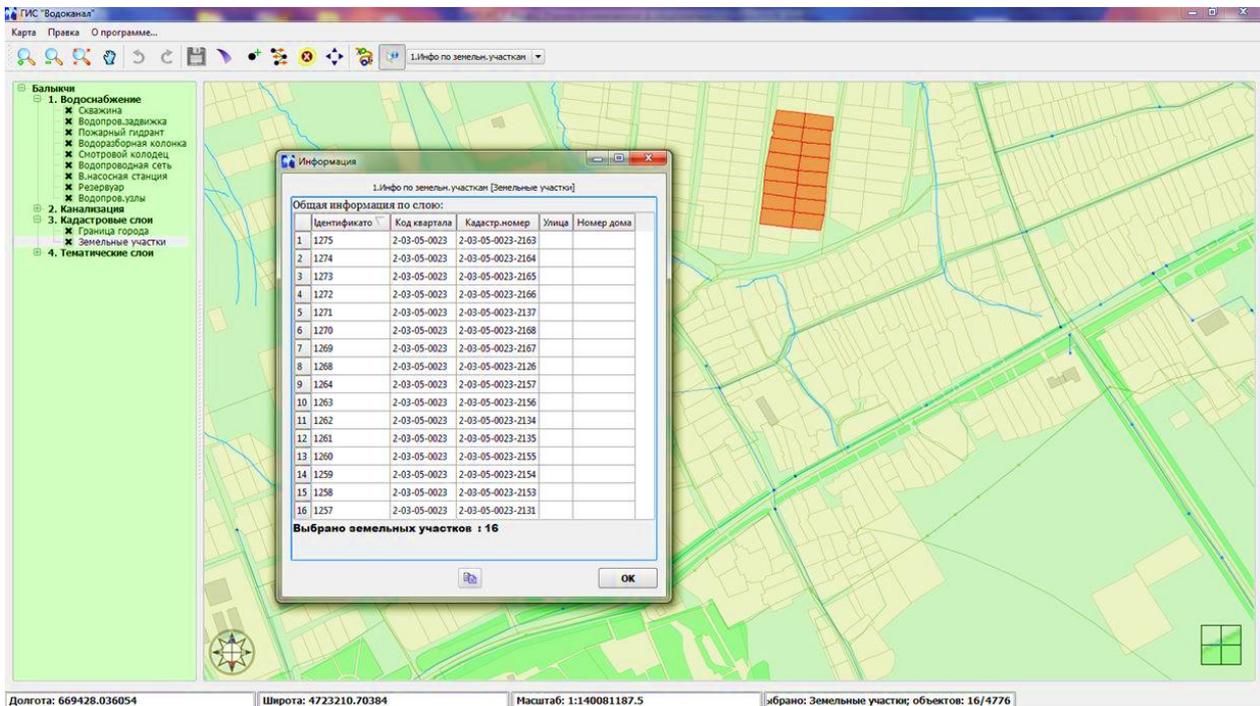
разработана программа WSS-GIS, использующая библиотеки QuantumGIS (рис. 3.2.8.6).



Рис. 3.2.7. Фрагмент г. Балыкчы (а) с объектами ВСК и ГИС г. Чолпон-Ата (б).



а)



б)

Рис. 3.2.8. Доступ к базе геоданных ВСК посредством стандартного интернет-обозревателя (а) и клиентского приложения WSS-GIS (б).

В каждом городе в офисах служб Водоканала установлены серверы базы геоданных, дополнительное оборудование (сканеры и принтеры), созданы интернет-домены для хоста базы геоданных и произведено подключение к интернету. Дополнительно установлены компьютеры в офисах Главархитектур и Мэрий, которые подключены к базе геоданных ВСК.

3.2.4. Информационная система по безопасности школ и дошкольных образовательных организаций.

Для оценки состояния школ и дошкольных образовательных организаций с точки зрения безопасности и уязвимости их от стихийных бедствий была проведена масштабная работа по сбору данных о структурной и функциональной безопасности зданий, выполненная КНИИПСС и создана база данных, обеспечивающая быстрый доступ к этим данным с использованием веб-картографических технологий (выполнена ЦАИИЗ).

Основой для разработки Информационной системы (ИС) и выполнения вышеуказанных задач по данному проекту являлся документ "Методология и инструментарий оценки безопасности школ и дошкольных образовательных учреждений Кыргызстана", разработанный ЮНИСЕФ и адаптированный специалистами Кыргызстана по сейсмостойкому строительству и снижению риска бедствий.

База данных и веб-сервер были установлены на отдельном сервере (<http://schooldb.caiag.kg/index.php>).

При разработке ИС использованы следующие OpenSource программные продукты:

- Apache - для организация Web-сайта,
- UMN Map-Server - для отображения Web-ГИС карт,
- PostgreSQL - управление базой данных,
- PostGIS - хранение географических координат в БД,
- QuantumGIS - ввод и редактирование графических данных в БД (опционально).

Структура базы данных состоит из 16 таблиц, среди которых 5 - административные образования: Республика, области, районы, айылные округа и населенные пункты, каждая из которых имеет колонку геометрии. Другие 7 таблиц - данные по школам и ДОО. Из них только одна таблица содержит данные геометрии. В остальных находится информация по 4 формам безопасности, общая информация по школам и ДОО и фотографии. Еще одна таблица содержит карту сейсморайонирования. Три оставшиеся таблицы - служебные, они необходимы для функционирования информационной системы.

Более сложными являются представления (views). Их в базе данных 74. Представления являются виртуальными таблицами, которые образуются из исходных таблиц или других представлений только во время обращения к ним. Представления позволяют применять к исходным таблицам различные фильтры, например, разделять школы и ДОО, объединять несколько таблиц в одну, рассчитывать

итоговую информацию, например, количество школ или учеников по району, области и т.д.

Информационная система по безопасности школ и ДОО организована в виде WEB-ГИС сайта (Рис.3.2.9.), содержащего 12 страниц.

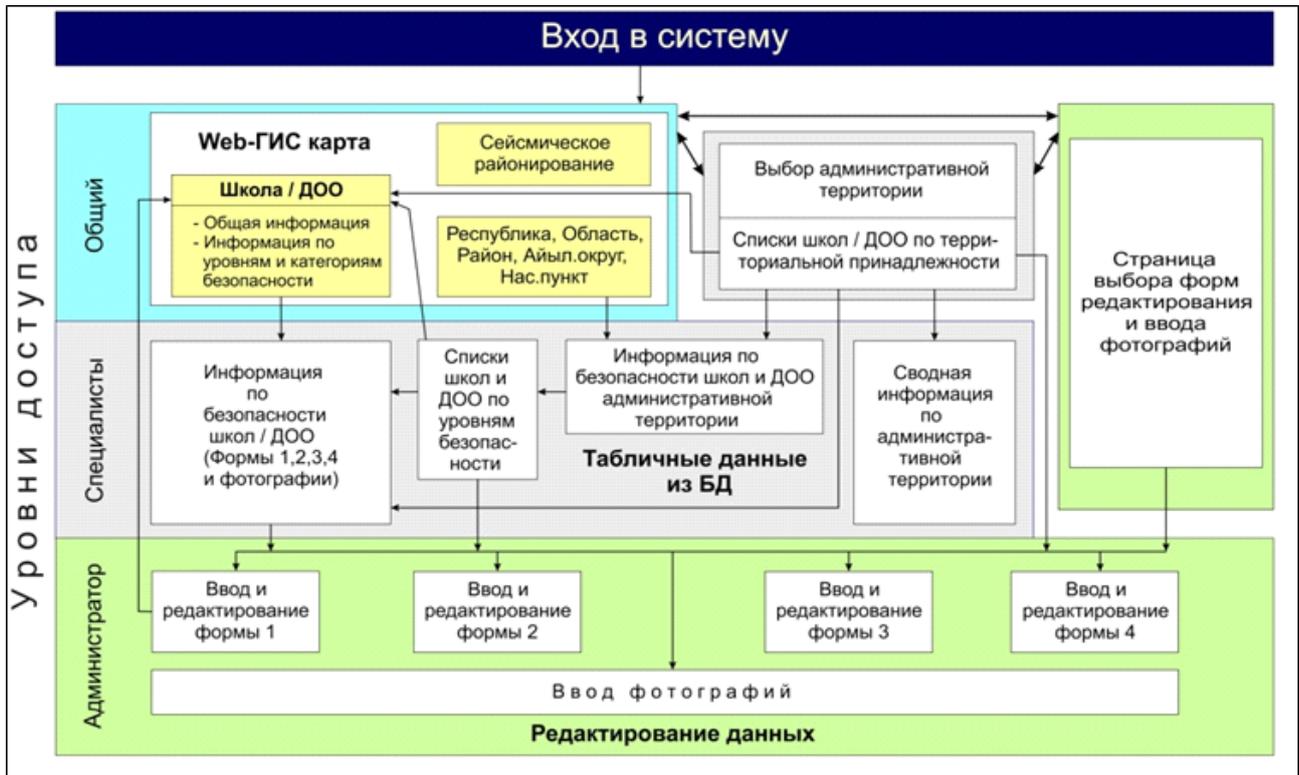


Рис. 3.2.9. Схема организации WEB-ГИС сайта

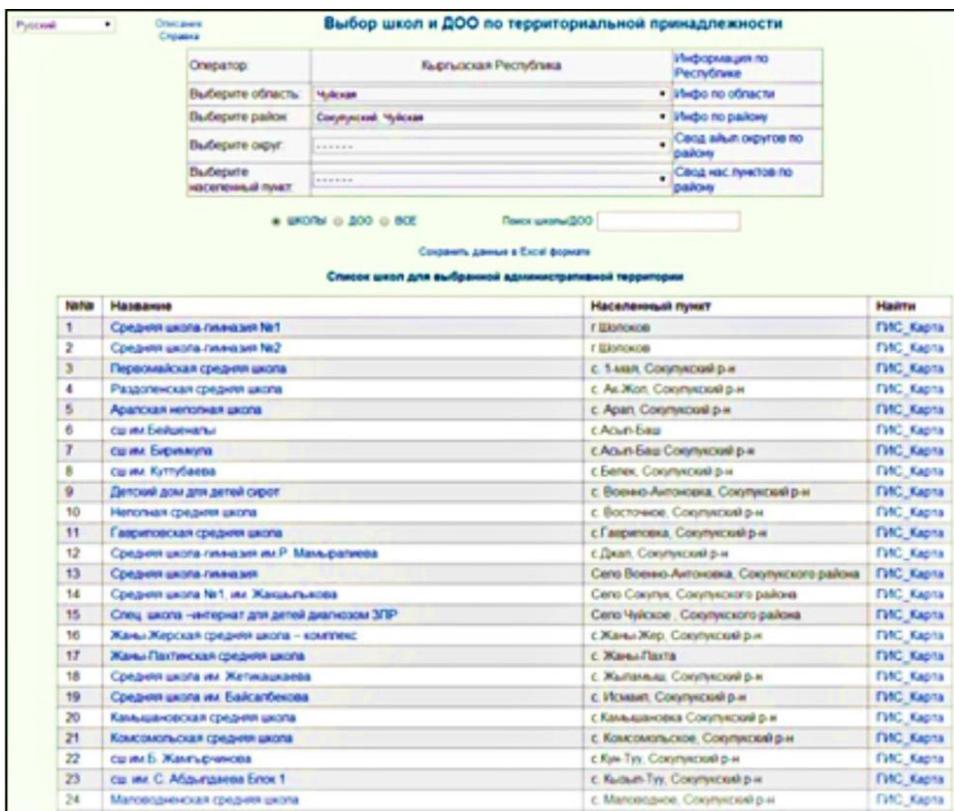
Для обращения к Web-ГИС сайту и базе данных установлено следующие уровни доступа: общий уровень – возможен только просмотр карт и общей информации по школам и ДОО, уровень специалиста – просмотр полной информации, уровень администратора – возможность редактирования данных, уровень суперадминистратора - предоставление прав доступа к Информационной системе пользователям, зарегистрировавшимся в ней. Второй и третий уровень доступен после специальной регистрации аккаунта пользователя.

Для создания страниц Web сайта использовался язык HTML. Программирование для серверной части осуществлялось на языке PHP, а для клиентской стороны - на JavaScript.

В базу данных введена информация для более, чем 3 тыс. школ и ДОО Кыргызстана, по 4 категориям: структурная безопасность, безопасность от риска бедствий, безопасность инженерных коммуникаций и инфраструктуры и функциональная безопасность. Вид страницы сайта - Web-ГИС картой и таблицей показан на рис. 3.2.10.



а)



б)

Рис. 3.2.10. Вид страницы сайта - Веб-ГИС с картой (а) и таблицей (б).

Проект «Снижение уязвимости детей к бедствиям в Кыргызстане» реализован при участии Министерства образования и науки КР, Министерства чрезвычайных ситуаций КР, при технической поддержке Детского Фонда ООН (ЮНИСЕФ) и финансировании Отдела по оказанию помощи в связи со стихийными бедствиями Агентства США по международному развитию (USAID).

3.2.4. Платформа данных по рискам стихийных бедствий Кыргызстана.

Платформа данных Кыргызской Республики по рискам стихийных бедствий предназначена для развития потенциала и поддержки принятия решений по управлению рисками стихийных бедствий в Кыргызстане. Платформа является основным местом хранения, поиска, распространения, отображения, ввода и анализа данных, направленных на снижение риска и смягчение последствий от стихийных бедствий, обеспечивая различные уровни государственного управления, частный сектор и общественность более полной информацией и инструментами, с помощью которых они смогут обоснованно принимать решения.

Платформа Данных (ПД) по Рискам Бедствий обеспечивает специалистов, работающих в области мониторинга, прогноза стихийных бедствий и выработки мероприятий по их предотвращению или ликвидации последствий актуальной и качественной информацией в виде картографических слоев и карт, аэро-космоснимков, текстовых и табличных данных.

Пространственные и непространственные данные аккумулируются на серверах ПД и доступны с любого компьютера через интернет посредством стандартного интернет-обозревателя. Все данные, хранящиеся в ПД, приводятся в соответствие с международными стандартами, принятыми для обмена и использования в геоинформационных системах.

Пользователи, работающие в области рисков стихийных бедствий, имеют возможность быстро находить необходимые данные, просматривать и выгружать их в свой компьютер. В Платформе данных имеются также средства, позволяющие составлять карты из имеющихся картографических слоев, распечатывать или публиковать их в интернете в виде интерактивных веб-карт.

Для реализации Платформы Данных выбрана программа GeoNode, позволяющая выполнять все требуемые для Платформы Данных функции. Инструменты управления данными, встроенные в GeoNode, позволяют создавать слои, карты, документы, метаданные и визуализировать их. Каждый набор данных в системе может использоваться публично или иметь ограниченный доступ только для определенных пользователей. Такие социальные функции, как профили пользователей и комментарии, рейтинговые системы позволяют развивать сообщества вокруг каждой платформы для облегчения ее использования и управления качеством данных.

Одним из важных достоинств GeoNode является возможность обмена пространственными данными с другими узлами, поддерживающими стандарты OGC (Рис. 3.2.11). Данные, содержащиеся в ПД, могут быть доступны пользователям других OGC-серверов, также как и содержимое других OGC-серверов может быть использовано пользователями ПД, с учетом ограничений по доступу, установленных на данные.

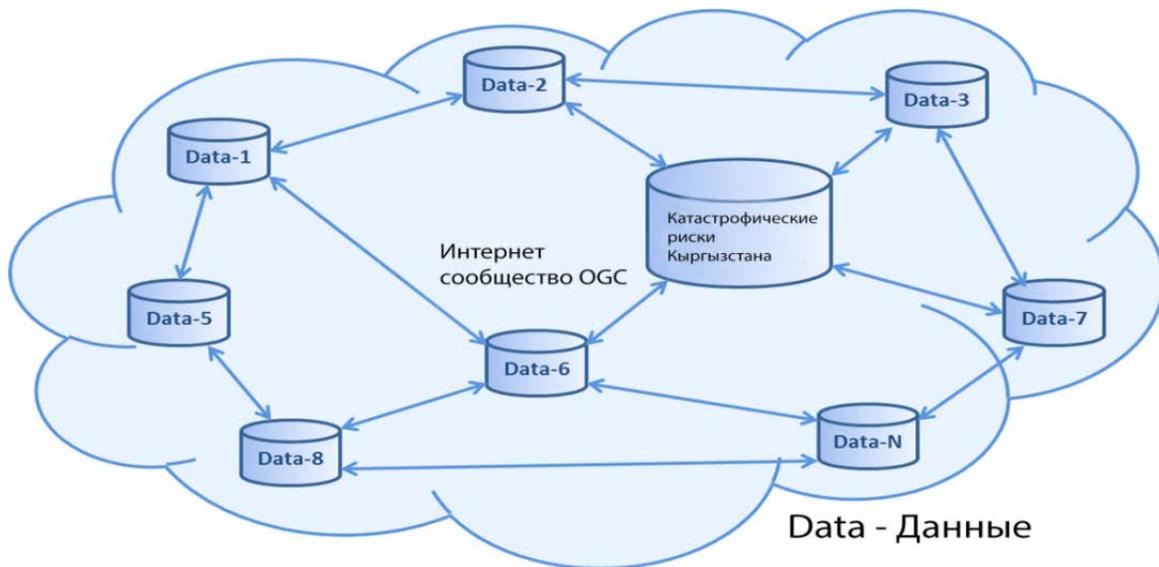


Рис. 3.2.11. Обмен данными между OGC-серверами.

Платформа Данных представляет собой геопортал (<http://geonode.mes.kg/>) (Рис.3.2.12.), в котором пользователи сохраняют свои пространственные и непространственные данные, предоставляют к ним доступ другим пользователям, создают карты и публикуют их, обмениваются данными с другими сообществами сети OGC-серверов, ведут обсуждение между собой и комментируют данные.

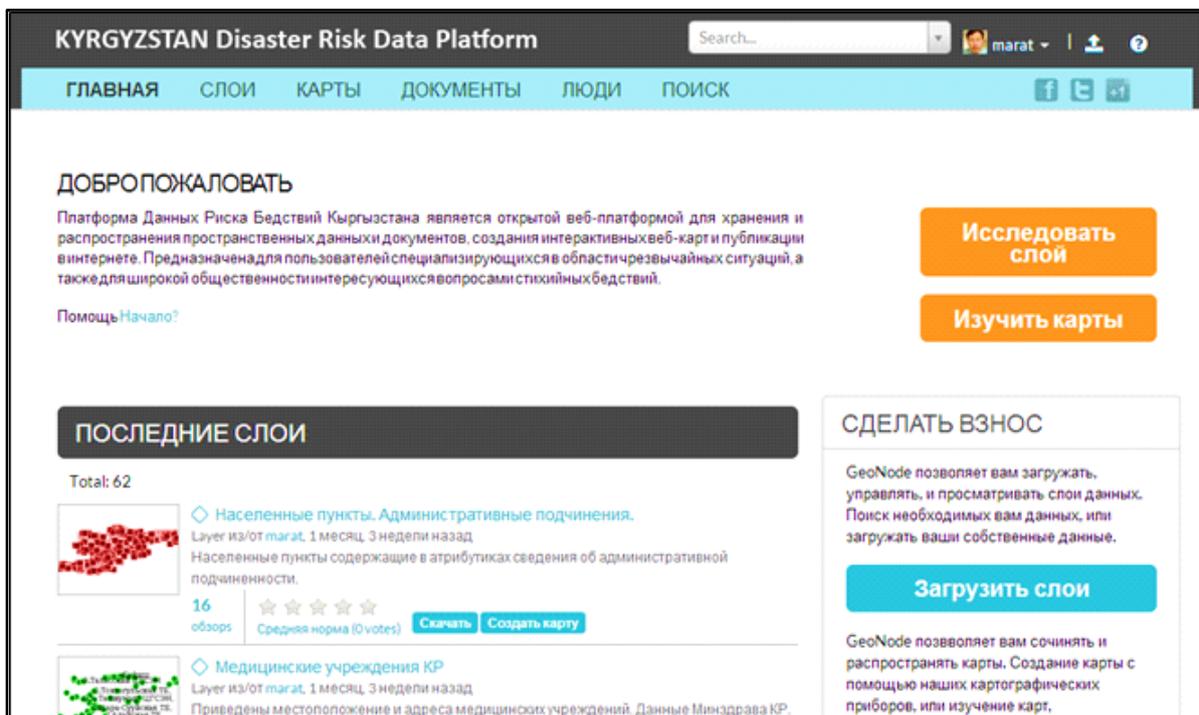


Рис. 3.2.12. Главная страница геопортала Платформы Данных.

Интерфейс пользователя в основном достаточно простой и интуитивно понятен даже для неподготовленного пользователя. Некоторую сложность может представлять только составление карт и настройка стилей отображения слоев и надписей.

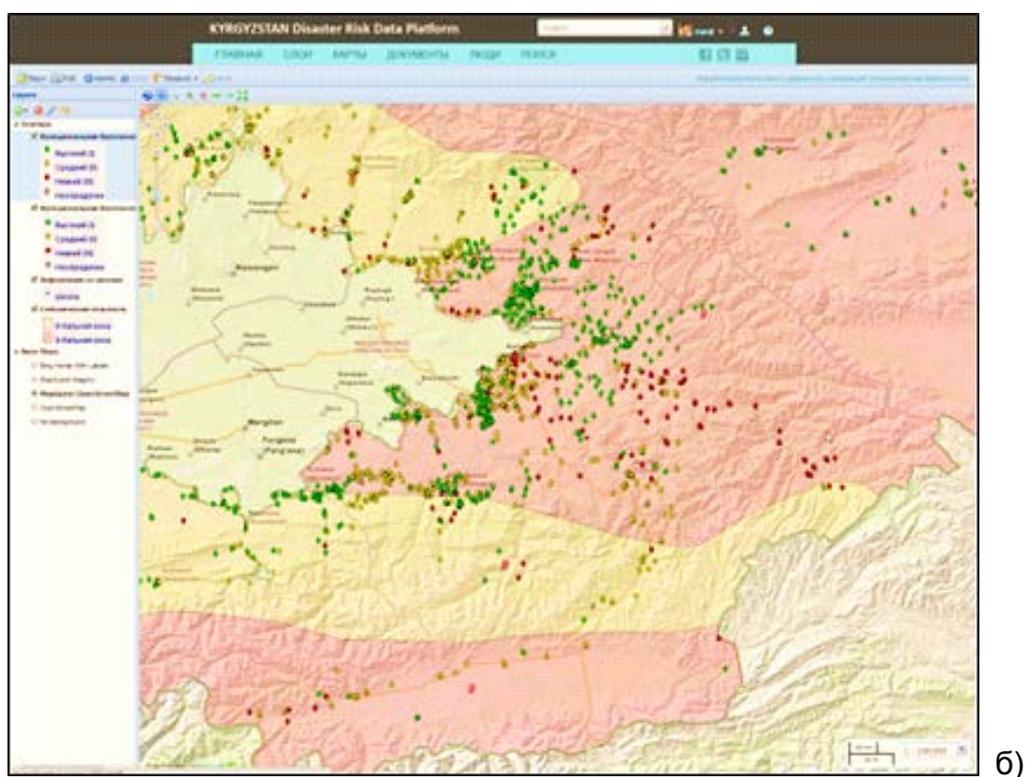
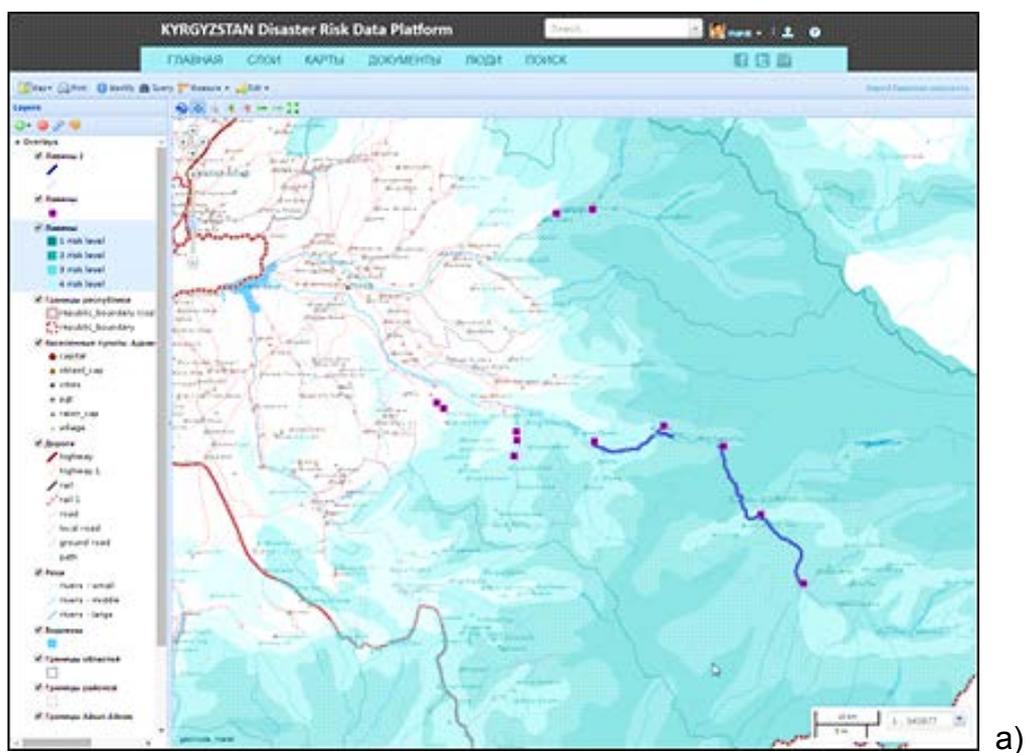


Рис. 3.2.13. Карта риска оползней (а) и безопасности школ (б) в ПД.

Обмен пространственными данными между ПД и другими OGC-совместимыми узлами производится в соответствии с протоколами WMS, WFS, WCS и другими, позволяющими передавать и принимать подключение пространственных данных в виде картинок, векторов, покрытий и т.п. На рис. 3.2.13 показана интеграция WMS-слоев, предоставляемых Информационной системой по безопасности школ и

дошкольных образовательных организаций, в Платформу данных по рискам стихийных бедствий.

Таким образом, можно создавать карты, используя для этого не только слои, имеющиеся в базе данных Платформы, но и слои из других OGC-совместимых узлов.

Созданные карты могут быть легко опубликованы на интернет-страницах в виде интерактивных карт, которые можно двигать, увеличивать и уменьшать, щелчком мыши, получать атрибутивную информацию об объектах и т. д.

Литература:

- Бакиров А.Б. (ред.) *Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью*. Бишкек: Илим. 2006. 116 с.
- Грин Т.П. *Скоростные разрезы сейсмоактивного слоя и глубины очагов землетрясений на основе детальной структуры волнового поля*. Дисс. на соиск. ст. канд. ф.-м.н. Москва: ИФЗ, 1987. 149 с.
- Зубович А. В., Мухамедиев Ш. А. *Метод наложенных триангуляций для вычисления градиента скорости горизонтальных движений: приложение к центрально-азиатской gps-сети // Геодинамика и тектонофизика*. 2010. Т. 1. № 2. С. 169-185
- Кальметьева З.А., Миколайчук А.В., Молдобеков Б.Д., Мелешко А.В., Жантаев М.М., Зубович А.В. (2009) *Атлас землетрясений Кыргызстана*. Бишкек: ЦАИИЗ 213с. ISBN 978-9967-25-829-7. www.caiiq.kg
- Abdybachaev U.A., Bragin V.D., Haberland Ch., Jusupova K., Kalmetyeva Z.A., Matiks A.I., Mechie J., Meleshko A.V, Moldobekov B.D., Orunbaev S.J., Schurr B. and UsupaevSh.E. *Active Seismic Investigation of December 22, 2009 Detonation at Kambarata (Kyrgyzstan) Site for a Dam Fill Construction*. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 13, EGU 2011-140-2, 2011 EGU General Assembly 2011, 3-8 April 2011 in Vienna, Austria.
- Havskov J. and Ottemoller L. *SeisAn Earthquake analysis software*, *Seis. Res. Lett.*, 70, 1999.
- T. Schöne, C. Zech, K. Unger-Shayesteh, V. Rudenko, H. Thoss, H.-U. Wetzel, A. Gafurov, J. Illigner, and A. Zubovich. *A new permanent multi-parameter monitoring network in Central Asian high mountains – from measurements to data bases*. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 2, 97–111, 2013, www.geosci-instrumentation-method-data-syst.net/2/97/2013/
- Herring T.A.(2004), *GLOBK: Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program Version 4.1*, Mass. Inst. of Technol., Cambridge.
- King, R.W. and Y. Bock (2004), *Documentation of the MIT GPS Analysis Software: GAMIT*, Mass, Inst. of Technol., Cambridge.

ГЛАВА 4. НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

4.1 Научное сотрудничество

ЦАИИЗ является членом Национальной Платформы по стихийным бедствиям при МЧС и оказывает консультационную поддержку решений, принимаемых Секретариатом Платформы. Институт принимает участие в периодических заседаниях платформы и подготовке Плана действий по снижению рисков стихийных бедствий, который включает в себя создание региональной системы раннего предупреждения, повышение уровня подготовки специалистов, повышения осведомленности местных сообществ и сотрудничество между региональными платформами.

В постсоветский период состояние академических структур в Кыргызстане ухудшилось: несмотря на высокий научный потенциал, развитие науки слабо поддерживалось государством. Поэтому сотрудничество для ЦАИИЗ и кыргызских научно-исследовательских организаций представляет огромный интерес: развитие потенциала, целенаправленное использование ресурсов, обмен информацией, обучение молодых ученых и т.д. Институт продолжает углублять свое сотрудничество с национальными партнерами, переходя на уровень практической реализации планов.

Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики остается основным партнером, заинтересованным в получении научных результатов института. Сотрудники ЦАИИЗ предоставляют по требованию МЧС данные с сейсмических станций, производят оценку последствий стихийных бедствий на местах. Ежегодно сотрудники ЦАИИЗ разрабатывают и представляют прогнозный материал об ожидаемых наиболее распространенных опасных процессах и явлениях на территории Кыргызской Республики для дальнейшего опубликования в ежегоднике МЧС КР «Книга прогнозов ЧС».

Как член Научно-технического совета при Межведомственной комиссии по Гражданской защите Кыргызской Республики, ЦАИИЗ участвует в обсуждении проблемных вопросов и результатов деятельности государственных органов, международных организаций и НПО в области управления рисками стихийных бедствий в Кыргызстане.

Участвуя в ряде проектов по инженерной сейсмологии, ЦАИИЗ продолжает вносить свой вклад в совершенствование институциональных рамок по сейсмостойкому строительству и оценке риска в населенных пунктах. В данный процесс вовлечены как академические институты, такие как Институт сейсмологии и Институт геологии Академии Наук, так и профильные организации, такие как КНИИПС, Госагентство по архитектуре, муниципальные органы. ЦАИИЗ проводит периодические встречи с представителями этих организаций, где представляет результаты научно-прикладных проектов.

ЦАИИЗ поддерживает связь с образовательными учреждениями Кыргызстана. Кроме этого, сотрудники ЦАИИЗ занимаются преподавательской деятельностью в ВУЗах, вовлекая студентов, магистрантов и аспирантов этих ВУЗов в деятельность института. Для них устраиваются ознакомительные экскурсии, они проходят стажировки и производственные практики, получают консультации специалистов. В круг партнеров института входят следующие ВУЗы:

- Институт горного дела и горных технологий при Кыргызском Государственном Техническом Университете им. Раззакова.
- Кыргызский Государственный Университет строительства, транспорта и архитектуры;
- Кыргызско-Российский Славянский Университет;
- Кыргызский Государственный Университет им. Баласагына (географический факультет);
- Бишкекский Гуманитарный Университет (факультет экологии);

Развитие международного сотрудничества и его форм рассматривается как одно из условий, определяющих перспективы Института. Важными направлениями ЦАИИЗ определил: проведение научных исследований с зарубежными научными центрами, обмен научной информацией, проведение международных научных конференций, публикация с зарубежными партнерами научных статей, использование различных форм международного сотрудничества для повышения квалификации сотрудников ЦАИИЗ, обмен специалистами, совместное использование оборудования, организация и проведение конференций, издательские проекты, сотрудничество с научными обществами, реализация проектов из третьих источников, стипендии.

Так же ЦАИИЗ предоставляет возможность прохождения международной стажировки зарубежным студентам, которые вовлекаются в повседневную работу ЦАИИЗ.

ЦАИИЗ и международные академические научные центры проявляют взаимный интерес к сотрудничеству для реализации научных проектов в центрально-азиатском регионе. В рамках выполнения совместных научно-исследовательских проектов за 10 лет было подписано более 70 Соглашений о сотрудничестве с различными национальными и международными организациями. Интерес к деятельности ЦАИИЗ со стороны международных научных центров и организаций возрастает, о чем свидетельствует увеличивающийся поток предложений о совместной деятельности.

4.2. Повышение потенциала

Первый опыт проведения образовательных мероприятий ЦАИИЗ получил во время организации международного тренинг-курса «Сейсмология и оценка опасности землетрясений», который проходил с 20 августа по 23 сентября 2006 г. Ведущие ученые из Кыргызстана, России, США и Европы прочитали лекции и провели практические занятия по современным методам в сейсмологии с выездом на места исторических землетрясений на Иссык-Куле, в Суусамыре, Чон-Курчаке и Ала-Арче, где были исследованы следы древних и современных сейсмодислокаций и сейсмокатастроф. По результатам данного тренинга совместно с GFZ Потсдам,

Институтом Сейсмологии НАН КР было издано руководство по проведению полевых экскурсий. Заявки на участие в тренинг-курсе подали 60 конкурсантов из различных стран мира, из них было отобрано 26 специалистов из Кыргызстана, Казахстана, России, Узбекистана, Таджикистана, Китая, Монголии, Турции, Афганистана и Ирана. 5-недельный курс был профинансирован Германским центром исследования Земли г. Потсдам, МИД ФРГ, InWEnt г. Берлин, СТВТО г. Вена, ЮНЕСКО г. Париж и ЦАИИЗ. Этот тренинг-курс ежегодно организовывается Германским центром исследования Земли г. Потсдам в рамках программы ЮНЕСКО по обучению и переподготовки в области наук о Земле и предупреждения катастроф.



Рис. 4.2.1. Участники международной тренинговой программы.

В период с 3 по 7 декабря 2007 года в ЦАИИЗ состоялась международная тренинговая программа «Управление рисками стихийных бедствий на уровне общин на базе Хиогской Платформы Действий». Тренинг был организован по инициативе Международной стратегии по снижению риска стихийных бедствий, ISDR/UN и с финансовой поддержкой Швейцарского Агентства по развитию и сотрудничеству (SDC) в Таджикистане. Организационная и техническая поддержка тренинга осуществлялась ЦАИИЗ. Главной целью тренинга являлось продвижение Хиогской рамочной программы действий на 2005-2015 гг.: создание потенциала противостояния стихийным бедствиям на уровне государств и сообществ. В тренинге приняли участие представители министерств по чрезвычайным ситуациям, обществ Красного Креста и Полумесяца, НПО, национальных офисов ПРООН, ЮНИСЕФ по компоненту стихийных бедствий от Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана, Туркменистана, Узбекистана и Сербии. Основным лектором на тренинге был Фалак Наваз - менеджер Ресурсной образовательной группы Азиатского Центра подготовки к стихийным бедствиям (Таиланд) (Рис. 4.2.1.). Так же были представлены презентации от МССБ/ООН, Швейцарского Агентства по Развитию и Сотрудничеству, ЦАИИЗ, FOCUS, ПЦСБ, представительство ПРООН в КР, МЧС, Национальное Общество Полумесяца

Кыргызстана. Выступили с докладами научные сотрудники отдела «Климат, воды и геоэкология» ЦАИИЗ.



Рис. 4.2.2. Экспертов международного семинара по прорывоопасным озерам.

20-21 мая 2008 г. ЦАИИЗ организовал международный семинар «Ледниковые прорывоопасные озера в Центральной Азии», при финансовой поддержке Швейцарского Агентства по Развитию и Сотрудничеству (SDC, Швейцария). Целью проведения семинара явилось обсуждение проблем прорывоопасных ледниковых озер в Центральном - азиатском регионе, определение существующих и необходимых научных, технических и организационных средств и определение главных тенденций, дефицитов и ресурсов, необходимых для решения проблемы в Центральной Азии. Семинар собрал более 40 экспертов в области прорывоопасных озер и представителей заинтересованных организаций из Кыргызстана, Узбекистана, Таджикистана, Казахстана, России, Германии, Австрии, Чехии, Канады и Непала (Рис. 4.2.2.). Результатом семинара стала выработка рекомендаций, которые послужат для улучшения сотрудничества в сфере решения проблем прорывоопасных озер, мониторинге, обработке данных и управления данными и информацией.

В 2008 году МИД ФРГ одобрил финансирование регионального проекта «Трансграничное предотвращение стихийных бедствий в Центральной Азии», которое реализовывалось международной компанией по повышению потенциала InWEnt (Германия), в сотрудничестве с GFZ и ЦАИИЗ. Проект делился на два важных компонента, научный - в рамках которого была создана региональная сеть CAREMON под научным и техническим руководством GFZ, и образовательный, который был нацелен на повышение потенциала представителей ведомств, ответственных за планирование, сейсмостойкое строительство и управление рисками ЧС, а также преподавателей профильных ВУЗов. Координация этого компонента была поручена ЦАИИЗ. На региональной встрече в Бишкеке, 6-8 апреля 2009 г. встретились национальные партнеры, чтобы обсудить план проведения мероприятий. В период с

апреля по сентябрь 2009 года в рамках проекта ЦАИИЗ провел следующие мероприятия:

Региональный тренинг «Сейсмостойкое строительство» 27-29 мая, Алматы, Казахстан. Тренинг был посвящен таким темам как проектирование зданий и сооружений в сейсмических районах, современные программные продукты для расчета зданий и сооружений в сейсмических районах, проектирование высотных зданий, контроль качества строительно-монтажных работ. На тренинг были приглашены специалисты с институтов сейсмостойкого строительства, архитектурно-строительных организаций стран Центральной Азии.

Национальные технические тренинги «ГИС для управления ЧС». В 4 странах (Казахстан, Кыргызстан, Узбекистан, Таджикистан) для специалистов из МЧС, институтов сейсмологии и сейсмостойкого строительства и преподавателей ВУЗов были проведены трехдневные практические занятия по применению инструментов ГИС в оценке уязвимости.

Региональный тренинг «Инфраструктурные аспекты подготовки к землетрясениям», 11-13 августа, Ташкент, Узбекистан. Темами трехдневного тренинга были: сейсмическая опасность и риск в ЦА, организация сейсмической защиты, неструктурная безопасность на промышленных предприятиях, общественных зданиях и жилых домах, мониторинг сейсмической ситуации на территории стран Центральной Азии, планирование и оптимальное размещение инфраструктуры крупных городов Центральной Азии для устойчивого развития в условиях высокой сейсмичности

Региональный семинар «Оценка и анализ риска», 28-29 сентября, Душанбе, Таджикистан. Цель семинара: обсуждение потребностей национальных партнеров в местных тренингах по оценке сейсмического риска для представителей архитектурно-планирующих организаций и МЧС

В рамках проекта прошли тренинги более 100 участников из стран Центральной Азии. Тренинговые материалы, лицензионные ГИС-программы, предоставленные компанией ESRI, через Z_GIS центр Зальцбургского Университета были распространены среди участников мероприятий. Успешные участники были награждены сертификатами об окончании курсов. Многие участники высказались за продолжение подобных тренингов, т.к. они способствуют повышению квалификации молодых специалистов, обмену опытом и знаниями.

В рамках проекта «Повышение осведомленности по комплексному управлению рисками стихийных бедствий на местном уровне», реализуемого Общественным фондом САМР Алатоо, ЦАИИЗ провел оценку риска на пилотной территории водосбора реки Зергер на юге страны. Кроме того, шесть сотрудников ЦАИИЗ прошли курс в САМР Алатоо по проведению тренингов с местными сообществами по повышению осведомленности о ЧС в рамках проекта. После обучения тренеров, были проведены на местах 16 полевых семинаров на территории водосбора реки Зергер и

11 полевых семинаров в пилотных аймаках, финансируемые проектом ПРООН «Управление рисками стихийных бедствий».

Участие ЦАИИЗ в международном симпозиуме «Повышение осведомленности о применении ИКТ в управлении рисками ЧС», организованном МЧС КР и Агентством Японии по аэрокосмическим исследованиям (JAXA) и Экономической и социальной комиссий для Азии и Тихого океана (ЭСКАТО), который прошел 25-27 февраля 2009 г. в Бишкеке, открыло возможности для интеграции в тихоокеанское научное и техническое сообщество. ЦАИИЗ вошел в проект Sentinel Asia координируемый JAXA, получив официальное членство в проекте с правом бесплатного получения космоснимков со спутников ALOS, IRS, KARI и THEOS по запросу на момент ЧС в регионе.

13-14 октября 2008 года в ЦАИИЗ прошел семинар по проекту "Вода Центральной Азии". В семинаре приняли участие представители гидрометеорологических служб Кыргызстана, Казахстана, Таджикистана и Германии. В ходе встречи были обсуждены текущее состояние сети гидрометеостанций и гидропостов и потребности в расширении сетей и приборов, процедуры передачи, обработки, хранения данных и возможности доступа к ним, процедуры обмена параметрами ЦА, потребность в создании банка данных по гидрометеорологическим параметрам для разработки гидро-климатической модели для Центральной Азии.

2-5 декабря, 2008 года ЦАИИЗ и Германский центр исследований Земли (GFZ) в Бишкеке провели тренинг по проекту «Сейсмическое микрорайонирование». В тренинге приняли участие ученые-сейсмологи стран ЦА: Таджикистана, Казахстана, Туркменистана, Узбекистана и Кыргызстана. Цель проекта – внести существенный вклад в смягчение сейсмического риска в Центральной Азии.

8-16 июня, 2009 года ЦАИИЗ, Институт Геологии НАН Кыргызской Республики, в сотрудничестве с ILP-Проектом Торо-Central Asia и ERAS (Земная аккреционная система), организовал международный геологический маршрут по кыргызской части Тянь-Шаня, с последующим 2-дневным семинаром в Бишкеке. Целью мероприятия являлось сравнение геологических структур и формаций Тянь-Шаня по Кыргызской и Китайской территориям, представление и обсуждение новых неопубликованных данных, а также проведение переговоров о перспективах международного сотрудничества по геологическим и геофизическим исследованиям в центрально-азиатском орогенном поясе, включая сейсмо-геологический профиль от Северного Китая до Сибири. Во время полевой экскурсии, длительностью в 8 дней, были рассмотрены разрезы Северного, Срединного и Южного Тянь-Шаня для сравнительной характеристики формаций, а также структурных и метаморфических перестроек на сопредельных территориях Кыргызстана и Китая и обсуждения эволюции Тянь-Шаня в рамках общей центрально-азиатской геологии. Прошедший вслед за экскурсией семинар предоставил возможность представить новые результаты исследования и обсудить перспективы совместных исследований. Были опубликованы путеводитель и сборник статей участников семинара.

В 2009 году ЦАИИЗ совместно с Партнерской инициативой в области наук о Земле в Северной Евразии (NEESPI), Германским центром исследований Земли (GFZ), Университетом Айдахо, Институтом географии Российской академии наук (ИГ РАН) и Главной геофизической обсерваторией РосГидромет провел ряд образовательных мероприятий:

- 8-13 сентября - шестидневное научное и образовательное мероприятие по горным экосистемам Северной Евразии и региональный семинар научной группы NEESPI (высокогорные регионы).
- 8-9 сентября - школа для молодых ученых «Исследования окружающей среды в высокогорье», на которой лекторы из США, России, Германии, Узбекистана и Кыргызстана, в т.ч. из ЦАИИЗ представили слушателям презентации о состоянии окружающей среды в высокогорье и современных методах исследований;
- 10-13 сентября - международный семинар, по текущим и планируемым проектам в рамках NEESPI. На семинаре были приняты рекомендации по улучшению координации проводимых исследований в высокогорных регионах Северной Евразии. В семинаре приняли участие около 50 ученых и специалистов из разных стран.

Проект EMCA (Модель Землетрясений Центральной Азии) был основан в рамках программы GEM (Глобальная Модель Землетрясений) и координируется Германским центром исследований Земли (GFZ) совместно с ЦАИИЗ. Целью проекта была трансграничная оценка сейсмической опасности и риска в Центральной Азии. Научный проект реализовывался совместно с научными партнерами из Кыргызстана, Казахстана, Таджикистана, Узбекистана и Туркменистана, работающими в области сейсмической опасности, микрорайонирования, уязвимости и риска. В рамках программы EMCA стороны имели возможность принимать участие в семинарах и проходить тренинги по различным направлениям. Участники имели доступ к самому современному программному обеспечению, разработанному для оценки сейсмической опасности, риска и анализа данных спутникового зондирования. В рамках проекта EMCA реализованы следующие семинары:



А

Б

В

Рис. 4.2.3. А) стартовый семинар в июне 2011 года; Б) семинар о сейсмической уязвимости в марте 2012 года; и В) семинар по гармонизации единой модели сейсмического районирования.

Стартовый семинар по проекту EMCA проходил в ЦАИИЗ июне 2011 года, в котором участвовали ведущие специалисты исследовательских институтов данного профиля, а

также представители министерств по ЧС Казахстана и Кыргызстана, являющиеся конечными пользователями проекта. На семинаре были обсуждены все вопросы по реализации данного проекта.

В марте 2012 года в рамках проекта ЕМСА для специалистов в области сейсмостойкого строительства был проведен семинар о сейсмической уязвимости крупных городов и населенных пунктов Кыргызстана. На данном семинаре обсуждались проблемы сейсмической уязвимости городов и населенных пунктов, и разработка базы данных по классификации уязвимости зданий на основе стандартов GEM, что является частью действий по снижению сейсмического риска.

На семинаре в июне 2012 года совместно с представителями всех стран-партнеров была завершена гармонизация единой модели сейсмического районирования для стран Центральной Азии, что явилось одним из главных результатов проекта ЕМСА. Семинар по использованию ГИС систем для обработки и управления данными уязвимости прошел в сентябре 2012 года для специалистов из Института инновационных технологий в г. Бишкек по оценке сейсмической уязвимости зданий в Кыргызстане Рис. 4.2.4.



Рис. 4.2.4. Семинар по использованию ГИС систем для обработки и управления данными уязвимости.

Семинар ЕМСА-GEM по оценке сейсмической уязвимости зданий, который прошел с 14 по 19 декабря 2013 года, организован GFZ совместно с ЦАИИЗ. На семинаре были подведены итоги всех проводимых работ по оценке сейсмической уязвимости зданий для стран Центральной Азии партнерами проекта, в соответствии с моделью уязвимости TAXONOMY. Во время данного семинара ведущими международными

специалистами из GEM были проведены лекции по использованию данной модели и современных методов и технологий по оценке уязвимости. Международные эксперты из GEM и эксперты-партнеры из стран Центральной Азии в течение пятидневного семинара работали над согласованием единой согласованной системы классификации оценки уязвимости зданий, с использованием полученных данных за 2 года работы проекта, следуя международным стандартам.

В рамках проекта Европейского союза «Влияние изменения климата на ледники и митигационные стратегии в европейских Альпах, шведской Лапландии и горах Тянь-Шаня» совместно с Университетом Вены (ведущая организация), Центрального Агентства по метеорологии и геодинамике (Вена, Австрия), Технического университета Блекинга (Швеция), ЦАИИЗ и Германским центром исследований Земли (GFZ), 13-17 августа 2012 года был проведен семинар «Оценка и смягчение изменений климата, вызванных опасными геологическими процессами на примере пригорода Бишкека». На семинар были приглашены исследователи из университетов Европы и Кыргызстана, аспиранты и представители государственных органов. На семинаре были представлены результаты работы исследовательской группы, свидетельствующие об изменении климата в течение последнего столетия, отступлении ледников, увеличении опасных геологических процессов оледенения, в частности был рассмотрен случай прорыва ледникового озера вблизи города Бишкек, произошедший в июне 2012 г. Участникам семинара была предложена двухдневная экскурсия с полевыми работами по оценке опасных геологических процессов в ущелье Ала-Арча. Материалы семинара, а также гидрометеорологические, спутниковые и ГИС-данные, руководства и список литературы были также представлена в виде виртуальной обучающей платформы, которая была впервые установлена в ЦАИИЗ. В дальнейшем эта платформа стала служить для распространения результатов проекта и обмена знаниями.

В рамках международной научно-практической конференции «Горы и климат» посвященной 10-й годовщине Международного Года Гор, 10 декабря 2012 г. ЦАИИЗ провел круглый стол «Водные ресурсы и опасные природные явления в горных регионах в связи с климатическими изменениями», при финансовой поддержке проекта CAWa. На данную встречу были приглашены представители гидрометслужб стран Центральной Азии, партнеров проекта CAWa, научные институты и университеты, и представители международных организаций. Были представлены промежуточные результаты проекта CAWa партнерами из GFZ, DLR, ЦАИИЗ и гидрометслужб стран Центральной Азии.

В рамках сотрудничества с Казахстанским Национальным Центром космических исследований и технологий. ЦАИИЗ провел 2 технических тренинга для сотрудников этого центра по обработке GNSS и InSAR данных. Программа обучения была составлена и проведена сотрудниками отдела 3 ЦАИИЗ.

С 5 по 9 августа 2013 года в ЦАИИЗ в рамках проекта CAWa был проведен тренинг-курс «Дистанционное зондирование для гидрологического моделирования», программа которого была составлена на кафедре «Дистанционного зондирования» университета г. Вюрцбург/Германия. Курс был направлен на использование возможностей

дистанционного зондирования в управлении водными ресурсами и использование программы ArcGIS 10. Участники курса обрабатывали индивидуальные данные и задачи, связанные с профессиональной деятельностью. В тренинг-курсе приняли участие 26 участников из всех 5 Центрально-Азиатских республик (Рис. 4.2.5.).



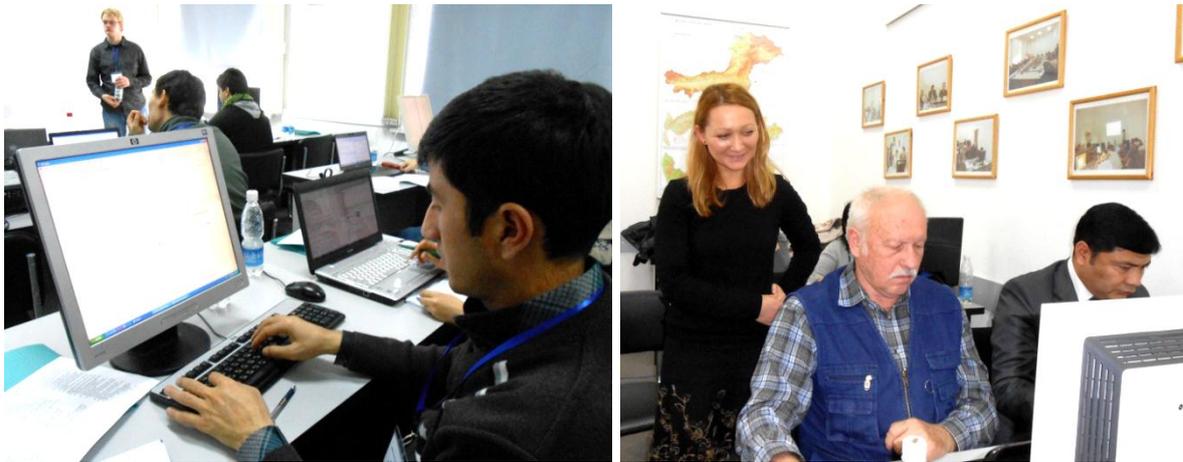
Рис. 4.2.5. Участники тренинг-курса проекта CAWa

С 9 по 13 декабря 2013 года в ЦАИИЗ прошел тренинг-курс проекта CAWa “Статистический анализ в гидрологии: введение в язык программирования R” по использованию программы для статистического анализа R (<http://www.r-project.org/>). Эта программа, находящаяся в открытом доступе, позволяет производить анализ, обработку и графические картины временных рядов, данных дистанционного зондирования и климатических моделей. R является мощным и легким в изучении языком программирования, который используется в научных целях для обработки информации. В тренинг-курсе приняли участие 24 участников из университетов и научных учреждений из 5 стран, включая Афганистан.

В целях распространения результатов проекта SENSUM 28-29 января 2014 года ЦАИИЗ и GFZ при поддержке ПРООН провели симпозиум по риску землетрясений и оползней в Центральной Азии и Кавказе: использование дистанционного зондирования и управление геопространственной информацией.

На данном симпозиуме участвовали ученые из Германии, Норвегии, Великобритании, Италии, Японии, Турции, Таджикистана и Кыргызстана. Тематика докладов была посвящена по изучению и смягчению природных катастроф с использованием современных технологий. Доклады конференции были представлены в виде презентаций и постера. Одна из основных целей симпозиума - объединение совместных усилий ученых и представителей местных властей и МЧС по

эффективному управлению во время ЧС. На симпозиуме также приняли участия представители различных организаций, таких как WB, GIZ, UNDP и ICCO COOPERATION, которые также реализуют совместные проекты на территории Кыргызстана по снижению рисков природных катастроф.



а

б

Рис. 4.2.6. Во время тренинг курса Статистический анализ в гидрологии: а) введение данных в язык программирования; б) обучение по обработке информации.



Рис. 4.2.7. Общее фото участников симпозиума проекта SENSUM

В рамках сотрудничества между ЦАИИЗ и университетом г. Вюрцбург с 25 апреля по 8 мая 2014 года в ЦАИИЗ был проведен тренинг-курс “Обработка данных методами GIS и дистанционного зондирования”. Программа тренинга была составлена и проведена проф. Кристофер Конрад и магистрантом Александрой Брайтер из университета г. Вюрцбург. В тренинге приняли участие сотрудники ЦАИИЗ, преподаватели Университета Центральной Азии (Институт исследования горных сообществ) и Кыргызского Технического Университета.

8 и 9 сентября 2014 года ЦАИИЗ провел международную конференцию «Дистанционные и наземные исследования Земли в Центрально Азии», посвященную 10-летию юбилею института. Основными целями конференции стали: обсуждение наиболее важных результатов дистанционных и наземных исследований Земли в Центральной Азии, полученных в последние годы; определение наиболее приоритетных научных направлений по данным исследованиям; обмен опытом, как в сфере проведения исследований, так и в сфере обработки, хранения и управления информацией.

В рамках конференции заслушано около 110 докладов известных ученых из стран Центральной Азии и Европы, России и США по 3 секциям:

- Геоопасности и геориски
- Климат, вода и природопользование
- Геоинформационные технологии и системы мониторинга.

Материалы конференции опубликованы в «Сборнике материалов конференции».

БЛАГОДАРНОСТИ

ЦАИИЗ выражает глубокую признательность за вклад в создание и развитие Института ученым и представителям государственных органов. При их содействии и неустанной поддержке создавались и реализовывались задачи, которые развивали Институт на протяжении 10 лет.

Всем им выражаем искреннюю признательность и благодарность: проф. Райгбер Х., проф. Эхтлер Г., проф. Эммерманн Р., др. Райзер Б., проф. Гизе Э., проф. Хюттль Р.Ю., др. Михайлев В.Н., др. Ветцель Х.-У., др. Реснер З., др. Офферманн П., проф. Чау Й., проф. Хольцле, др. Шёне Т., Унгер-Шаесте К., др. Паролай С. с Германской стороны. Др. Джумагулову А.Д. (посол Кыргызской Республики в Германии), экс-министрам МЧС Кыргызской Республики: Урманаеву С.И., Эшманбетову Р.Б., Чырмашеву С.Ч., Рустембекову Ж.С., Джунушалиеву Т.Ш., Борбиеву Б.Б., министру Боронову К.А. Академикам НАН КР: Бакирову А.Б., Маматканову Д.М., Кутанову А.С., проф. др. Христофорову А.В. (Россия), др. Саидову М.С.(Таджикистан), др. Михайловой Н.Н.(Казахстан) и др. Торгоеву И.А.. Сотрудникам Департамента мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций МЧС КР: Сарногоеву А.К., Айталиеву А.М., Ажыбаеву Т.А., Ибатулину Х.В., Мокроусову В.В

**ЦЕНТРАЛЬНО АЗИАТСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ
(ЦАИИЗ)**

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

**Отпечатано:
ОсОО “City Print”
г. Бишкек, пер. Ангарский 13
+996 (312) 88-21-10
+996 (312) 88-23-80
e-mail: cityprintkg@mail.ru**

2016 г.