

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

**Материалы**

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

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

**Бишкек, КЫРГЫЗСТАН,**

**17-18 сентября 2019**

---

**Central-Asian Institute for Applied Geosciences (CAIAG)**

**Materials**

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

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

**Bishkek, KYRGYZSTAN,**

**September 17-18, 2019**

УДК 528  
ББК 26.323  
Д 48

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

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

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

**ISBN 978-9967-12-834-7**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**УДК 528**  
**ББК 26.323**

## СОДЕРЖАНИЕ

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

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

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

- Осмонов А. Т., Азисов Э., Нарама Ч.**  
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИМИ СНИМКАМИ ЛЕДНИКОВ СЕВЕРНОГО СКЛОНА ТЕРСКОЙ АЛА-ТОО: КАРТИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЗА ПЕРИОД 1975-2018. 190
- Подрезова Ю.А., Павлова И.А.**  
ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА ЮГО-ЗАПАДНОГО КЫРГЫЗСТАНА (ТЕМПЕРАТУРА И ОСАДКИ 1930-2017 ГГ.) 194
- Рец Е.П., Белозеров Е.В., Петраков Д.А., Шпунтова А.М.**  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ТАЛОГО СТОКА В ВЫСОКОГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ВНУТРЕННЕГО ТЯНЬ-ШАНЯ. 200
- Рыскаль М.О.**  
СПУТНИКОВЫЕ КАРТЫ ГОДОВЫХ И СЕЗОННЫХ СУММ ОСАДКОВ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА 206
- Саидов М. С., Фазылов А. Р., Саидов С. М.**  
РИСКИ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ СВЯЗАННЫЕ С ДЕГЛЯЦИАЦИЕЙ (ПАМИР) 214
- Турчанинова А.С., Башкова Е.И., Лазарев А.В., Петраков Д.А.  
РОЛЬ СНЕЖНЫХ ЛАВИН В ПИТАНИИ ГОРНЫХ ЛЕДНИКОВ 219
- Умарова З.М., Ташматов К.А.**  
ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАСОЛЕННОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В АХАНГАРАНСКОЙ ДОЛИНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ERDAS IMAGINE 226
- Усубалиев Р.А., Осмонов А.Т., Азисов Э. А., Мандычев А.Н., Шабунин А.Г., Калашникова О.Ю., Подрезова Ю.А.**  
РЕЖИМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДНИКА ЮЖНЫЙ ЕНЫЛЬЧЕК ПО СОСТОЯНИЮ НА 2018 ГОД. 230
- Чембарисов Э.И., Рахимова М.Н., Мирзокобулов Ж.Б.**  
ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОРОСИТЕЛЬНЫХ ВОД УЗБЕКИСТАНА 248
- Шпунтова А.М., Усубалиев Р.А., Петраков Д.А.**  
СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ ОЛЕДЕНЕНИЯ МАССИВА АКШЫЙРАК (ВНУТРЕННИЙ ТЯНЬ-ШАНЬ) 252
- Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю.**  
ОСОБЕННОСТИ РАСПРОТРАНЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПОДЗЕМНЫХ ВОД УЗБЕКИСТАНА 259
- Юсупов Ш.С.**  
ВАРИАЦИИ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УГЛЕРОДА CO<sub>2</sub> ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗАВИСИМОСТИ ЛУННЫХ ФАЗ И ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 263

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Уважаемые коллеги!

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

Целью конференции является рассмотрение и обсуждение наиболее важных результатов прикладных и теоретических работ за последние 5 лет на базе междисциплинарного использования современных дистанционных и наземных исследований Земли, полученных на основе созданной и функционирующей новейшей сети мониторинга за изменениями природной среды как на примере территории Кыргызстана, так и трансграничных районов со странами Центральной Азии.

ЦАИИЗ совместно с Немецким Центром Исследования Земли (НЦИЗ) в сотрудничестве с институтами Национальной академии наук КР для участия на международную конференцию в целях расширения обмена опытом работ, а также определения приоритетных научно-прикладных направлений для участия пригласили ученых из профилирующих организаций Центральной Азии и стран ближнего и дальнего зарубежья.

Сборник материалов рассчитан на широкий круг ученых и специалистов интересующихся проблемами наук о Земле, методологий изучения геодинамики, георисков, изменения климата, применения ГИС и мониторинговых технологий, обработки и хранения геобазы данных.

Публикации участников представлены в оригинальной авторской редакции и Организационный комитет не несет ответственности за их содержание и перевод.

## **PREFACE**

Dear Colleagues!

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

The goal of the conference is to review and discuss the most important results of applied and theoretical work over the past 5 years based on the interdisciplinary use of modern remote and ground-based Earth surveys, obtained with the help of the established and functioning up-to-date network for monitoring the changes in the Natural environment using both an example of the territory of Kyrgyzstan, and cross-border areas of the countries of Central Asia.

CAIAG together with the German Center for Earth Research GFZ in collaboration with the Institutes of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic has invited scientists from an appropriate organizations from Central Asia and foreign countries for participation in an international conference to expand the exchange of work experience, as well as to determine priority scientific and applied areas.

The collection of materials is designed for a wide range of scientists and specialists interested in the Earth sciences' issues, methodology studies of geodynamics, geo-risks, climate change, the use of GIS and monitoring technologies, processing and storage of geo-base data.

The publications of the participants are presented in the original author's edition and the Organizing Committee is not responsible for their content and translation.



**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО ИНСТИТУТА ПРИКЛАДНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ (ЦАИИЗ) ЗА 2014-2019 ГОДЫ**

*Молдобеков Б, Лаутерюнг Й.*

**Бишкек, Кыргызская Республика**

**MAIN RESULTS OF SCIENTIFIC ACTIVITY CENTRAL ASIAN INSTITUTE FOR APPLIED  
GEOSCIENCES (CAIAG) 2014-2019**

*Moldobekov B. Lauterung J.*

**Bishkek, Kyrgyz Republic**

**Аннотация.** В статье представлены краткие сведения об основных научно-исследовательских проектах выполненных за последние 5 лет и осуществляемых в настоящее время отделами ЦАИИЗ. Отдел 1 "Геодинамика и геориски" основными направлениями деятельности являются: а. Геодинамика; б. Геориски; в. Инженерная геология; г. Оползни; д. Сейсмология. По Отделу 2 «Климат, вода и ледники» главными направлениями исследований являются: а. Климатология; б. Гидрология, лимнология, гидрогеология; в. Гляциология. Деятельностью Отдела 3 «Системы мониторинга и управление данными» являются: а. Создание и развитие Систем мониторинга; б. Поддержание и развитие IT инфраструктуры института; в. Создание и развитие Геоинформационных систем; г. Изучение современной геотектоники GNSS методами. Отдел 4. «Развитие потенциала и научное сотрудничество» проводит работы по: а. Использованию информационных потоков ранее не существовавших систем мониторинга для оказания поддержки в принятии решений в области управления окружающей среды; б. Развитие научного сотрудничества и подготовка научных кадров; в. Развитие библиотечных ресурсов.

**Ключевые слова:** прикладные исследования, геодинамика, геориски, оползни, сейсмология, климат, водные и природные ресурсы, гляциология, лимнология, геоинформационные системы, научное сотрудничество, подготовка кадров, библиотечные ресурсы, мониторинг.

**Annotation.** The article provides brief information about the main research projects carried out over the past 5 years and being implemented currently by the CAIAG departments. Department 1: "Geodynamics and georisks" - the main activities are: a. Geodynamics; b. Georisks; c. Engineering geology; d. Landslides; e. Seismology. Department 2: "Climate, Water, and Glaciers," the main areas of research are: a. Climatology; b. Hydrology, Limnology, Hydrogeology; c. Glaciology. The activities of Department 3: "Monitoring systems and data management" are: a. Creation and development of monitoring systems; b. Maintenance and development of IT infrastructure of the Institute; c. Creation and development of geo information systems, d. The study of modern geotectonics using GNSS methods. Department 4: "Capacity Development and Scientific Cooperation" carries out work on: a. Using information flows of previously non-existent monitoring systems to support decision-making in the field of environmen-

tal management; b. Development of scientific cooperation and training of scientific personnel; c. Development of library resources.

**Key words:** applied research, geodynamics, geo-risks, landslides, seismology, climate, water and natural resources, glaciology, limnology, geo information systems, scientific cooperation, training for personnel, library resources, monitoring.

**Введение.** Прикладные исследования сконцентрированы на изучении факторов и условий проявления оползневых процессов на территории южного Кыргызстана. Проводятся работы по оценке и анализу современных тектонических движений и их активности в зоне Памиро-Тянь-Шанского сочленения. Представлены результаты определения баланса массы, морфологических и динамических характеристик репрезентативных ледников и ледниковых систем Кыргызстана в условиях изменения климата. Приведены результаты инвентаризации и обновлённого каталог ледников Кыргызстана. Проводятся прикладные работы по созданию и совершенствованию базы геоданных и системы мониторинга за изменениями в окружающей среде на территории Центральной Азии. Приведены данные по созданию сети и системы мониторинга сильных движений (землетрясений) реального времени для городов Бишкек и Ош, которая используется МЧС КР, как основа системы раннего оповещения населения и муниципальных структур. В соответствии с общей стратегией развития Института и утверждённой научно-исследовательской программой (НИП) в настоящей статье предоставлены основные результаты исследований и деятельности ЦАИИЗ за 2014-2019 годы [1 - 18].

**Методики и методология.** Основные научные исследования проводились с использованием современных дистанционных и наземных мониторинговых наблюдений и измерений в следующих областях: а. изучение оползневых процессов юга Кыргызстана; б. изучение современных тектонических движений в зоне сочленения Памира с Тянь-Шанем; в. исследование репрезентативных ледников Кыргызстана и определение их баланса массы; г. инвентаризация и составление каталога ледников Кыргызстана; д. создание базы геоданных Центральной Азии; е. региональная система раннего оповещения о землетрясениях (ACROSS). Прикладные исследования сопряжены были с установкой современных датчиков, станций, и иных измерительных научных оборудований с созданием междисциплинарных комплексных сетей мониторинга за изменениями окружающей геологической среды атмосферного, гидросферного, криосферного и литосферного исследовательского характера [1 - 18].

**Результаты исследований.** Комплекс проведенных прикладных исследований по приоритетным основным направлениям деятельности ЦАИИЗ позволил получить нижеследующее [1 - 18].

**1. Изучение оползневых процессов юга Кыргызстана.** В рамках данного проекта проводятся комплексные исследования оползневых процессов Кыргызского Тянь-Шаня. За прошедший период оцифрованы оползневые склоны по бассейнам рек Кара-Дарыя, Кугарт, Кара-Уюнкур, Майлы-Суу, и Сулюкта, и составлен каталог оползней для территорий Ошской, Жлалал-Абадской и Баткенской областей (рис. 1).

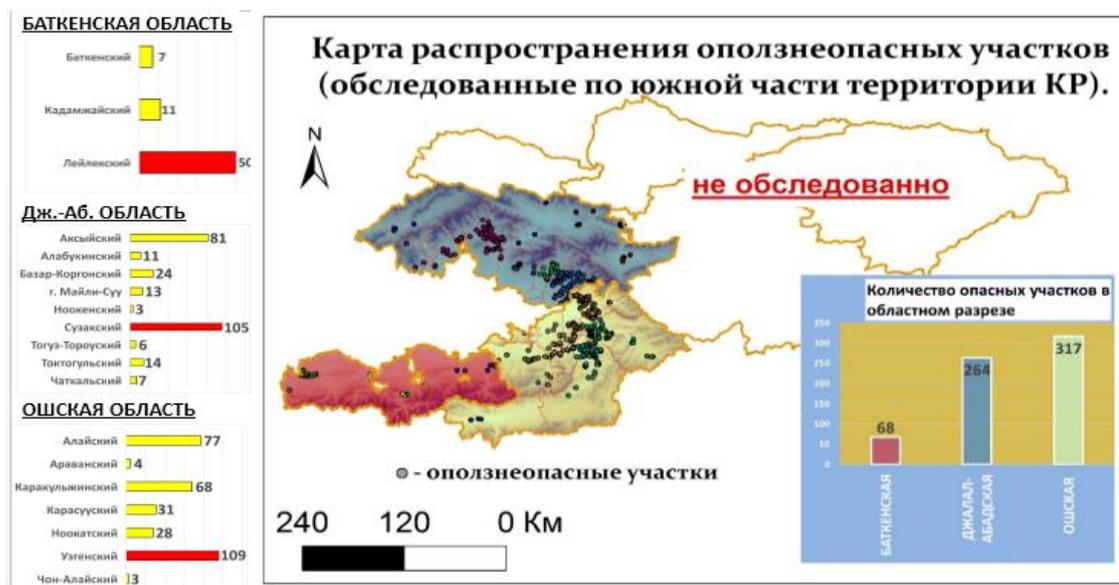


Рис. 1. Распространение оползней в юго-западной части Кыргызстана.

В настоящее время продолжают исследования на тестовых участках (репрезентативных оползнях) с использованием геоинформационных систем (GIS), дрона и различных космических снимков для проведения факторного анализа и определения закономерностей распространения оползневых процессов. Ежегодно, составляются обновленные карты распространения оползней и оползнеопасных участков, и их динамика развития, которые в последующем передаются в Министерство чрезвычайных ситуаций для принятия оперативных решений.

**2. Изучение современных тектонических движений в зоне Памирско-Тянь-Шаньского сочленения.** Целью проекта является изучение современных тектонических движений в зоне сочленения Памира с Тянь-Шанем, их сравнение с движениями за прошлые геологические периоды (плейстоцен и голоцен) и выявление закономерностей деформационных процессов в разломных зонах и вблизи них.

За прошедший период производилось накопление GNSS данных и их обработка от GNSS станций Алайской GNSS сети, которых в настоящее время 10: семь станций в составе WAGP (Западно-алайского GNSS профиля) и три в EAGP на востоке (Рис. 2 А и В)

В данном регионе в декабре 2015 года произошло сильное землетрясение, которое отразилось на всем Алае – все станции сместились от почти 2 сантиметров до нескольких миллиметров. Из-за этого изменился естественный ход тектонических движений. И этот единовременный скачок станций, с одной стороны, усложнил вычисление GNSS скоростей точек наблюдения, а с другой дал дополнительную информацию о состоянии и параметрах земной коры.

Обработка и предварительный анализ показали изменения в тектоническом режиме геологической среды – относительная скорость тектонических движений изменилась после произошедшего землетрясения, причем в сторону уменьшения (рис. 2 В).

Скорость станции SAR1 относительно SARY составляет 12.0 мм/год, станции SAR2 – 14.2 мм/год. Это очень большие скорости для расстояния 27 км (между SAR2 и SARY).

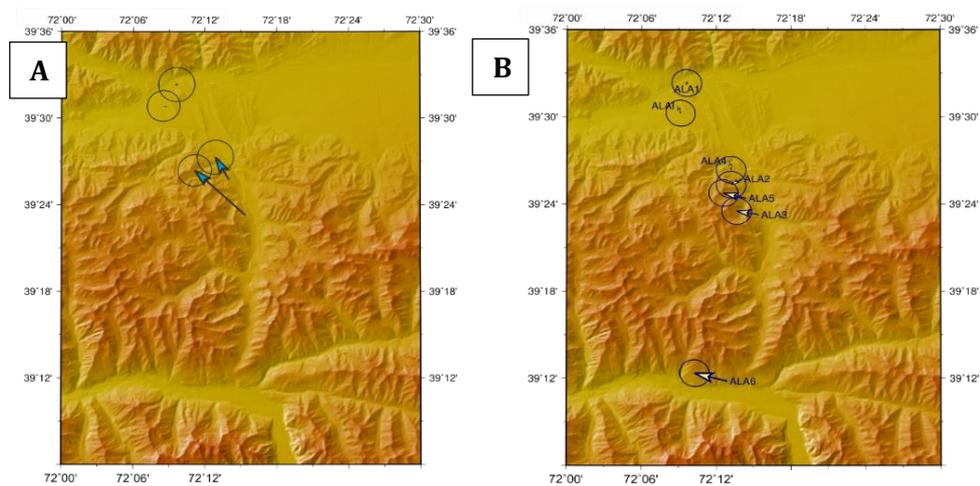


Рис. 2. Векторы скоростей станций WAGP до (A) и после (B) Сарезского землетрясения относительно самой северной станции ALA1. На схеме A станции с юга на север: ALA3, ALA2, ALA1, ALA4.

Это более трети общей скорости укорочения между Индийской и Евразийскими плитами и являются самыми большими скоростями деформаций из наблюдаемых в Центрально-азиатском регионе. Вычисления также показывают, что линейные деформации между SAR2 и SARY равняются  $5.2 \cdot 10^{-7}$ , а между SAR1 и SARY составляет  $4.9 \cdot 10^{-7}$  и практически одинаковы. Это показывает, что деформации в данной части Алайской впадины распределены с юга на север равномерно.

На Рис. 3 приводится космический снимок с нанесенными в виде стрелок «Векторами скоростей станций Восточно-Залайского GNSS профиля относительно станции SARY».

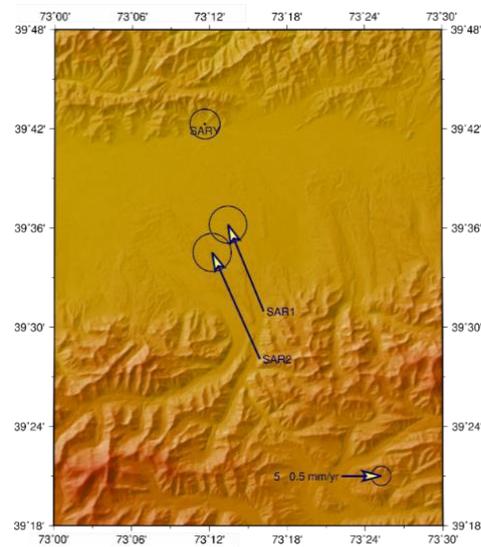


Рис. 3. Векторы скоростей станций Восточно-Залайского GNSS профиля относительно станции SARY.

Определение особенности тектонического движения района исследования с учетом ее высокой скорости смещения, а также установление более детальных интервалов повторяемости сильных землетрясений в двух разных геологических разломах является одной из основных задач будущих исследований в этом регионе.

**3. Исследование репрезентативных ледников Кыргызстана и определение их баланса массы.** Цель проекта: определения баланса массы, морфологических и динамических характеристик репрезентативных ледников и ледниковых систем Кыргызстана в условиях изменения климата.

С 2006 года и по настоящее время продолжают детальные исследования опорных ледников Абрамова, Голубина, Петрова, Карабаткак, Западный Суек, №354, и Энылчек (рис. 4) целью определения их баланса, морфологических, динамических характеристик, ледникового стока, а также климатических условий. Исследования проводятся методами инструментальных измерений и дистанционного зондирования (ДДЗ) с использованием высокого разрешения оптических космических снимков.

Выполняется картирование их границ, измерение абсолютной высоты поверхности, абляции и аккумуляции. Рассчитывается баланс массы. В результате получена ретроспективная и современная картина изменения площадей, объемов и структуры вышеперечисленных ледников.

Создана и расширяется геоинформационная базы данных по ледникам Кыргызского Тянь-Шаня.

Определение положения границы языка ледника по результатам дешифрирования космических снимков спутника «Planet Scope» выполнено в 2018 году для ледников Абрамова, Голубина, Суекского, № 354 (Акшийрак), Петрова. Отступление границы ледника Петрова за 2015-18 гг. показано на рис.5, ледника Абрамова за 2016 -2018 гг. на рисунке 6 А) и ледника Голубина за 2014-2018 гг. на рисунке 6.В).

В целом, тенденция деградации ледников сохраняется, как это видно на указанных рис. 5.



Рис. 4. Расположение репрезентативных ледников Кыргызстана.

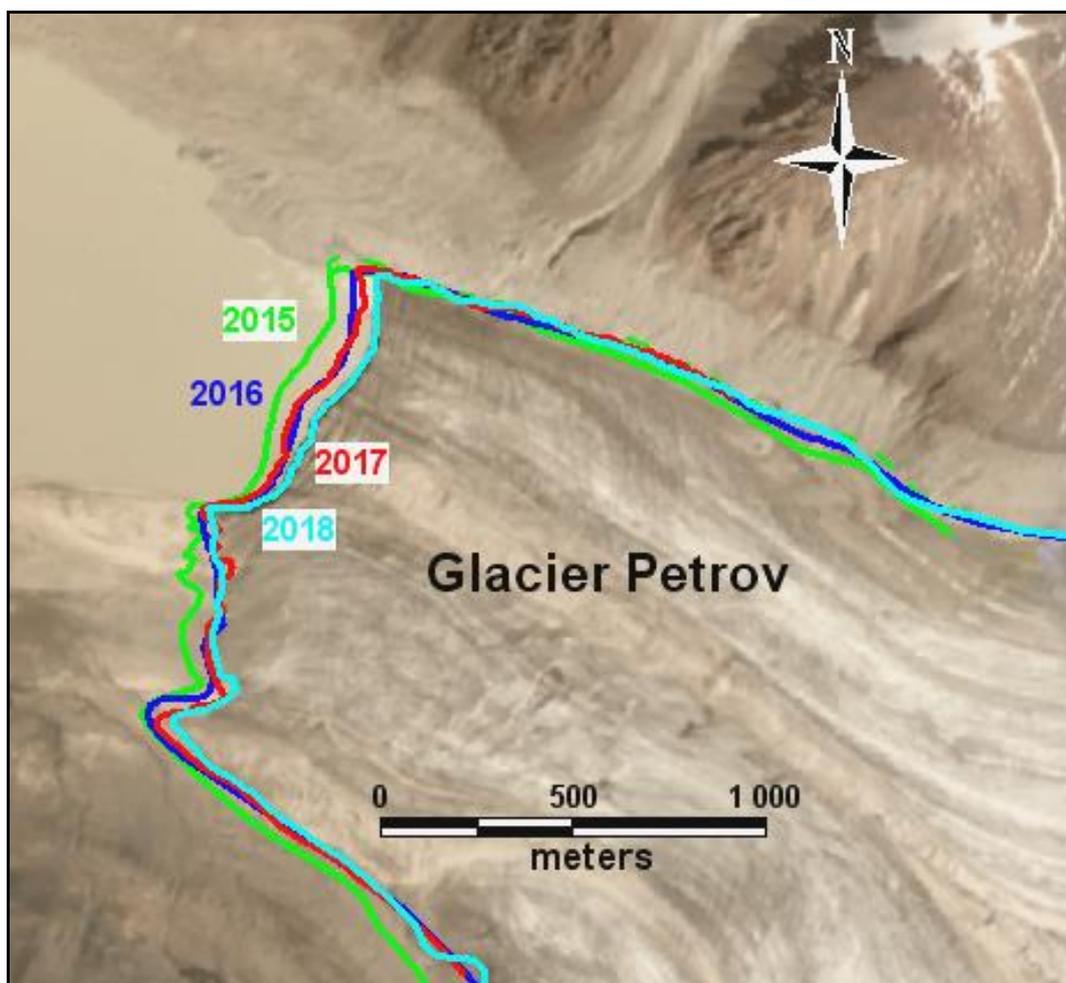


Рис. 5. Границы языка ледника Петрова в 2015 - 18 годах по космическим снимкам спутника «Landsat 8» от 2015-17 года и спутника «Planet Scope» от 08/2018 г. Фоновое изображение-снимок спутника «Planet Scope» от 08/2018 г.

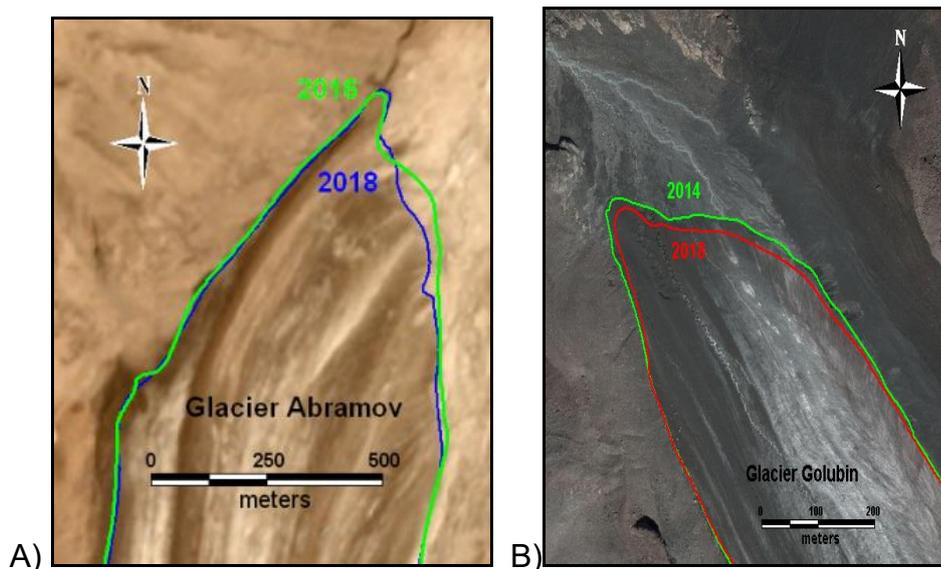


Рис. 6. Границы языка ледников: а) Абрамова и в) Голубина в 2016, 2018 годах по космическим снимкам спутника «Planet Scope» от 08/2016, 08/2018 г. Фоновое изображение -снимок спутника «Planet Scope» от 08/2018 г.

**4. Инвентаризации и составление каталога ледников Кыргызстана.** В рамках тематических исследований в 2018 году опубликован «Каталог ледников Кыргызстана», где на основе дешифрирования космических снимков спутника «Ландсат 8» и сравнения с Каталогом ледников СССР (КЛС), показано состояние оледенения на 2013-16 гг. и его изменение со времени подготовки КЛС в 70-е годы 20-го столетия.

Основными исходными данными при проведении данной работы послужили изображения спутника «Landsat 8» (с сайта Геологической Службы США USGS - <https://earthexplorer.usgs.gov/>), а также цифровая модель рельефа (ЦМР), 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/>). В табл. 1, представлены данные ледников Иссык-Кульского бассейна.

Полученные результаты позволят определить основные тенденции развития ледников в Кыргызстане, оценить направление и масштабы изменения ледниковой составляющей водных ресурсов региона.

Таблица 1.

	Всего ледников в бассейне оз. Иссык-Куль		Ледники размером > 0.1 км <sup>2</sup>		Ледники размером < 0.1 км <sup>2</sup>	
	Количество	Площадь, км <sup>2</sup>	Кол-во	Площадь, км <sup>2</sup>	Кол-во	Площадь, км <sup>2</sup>
По каталогу	843	650,4	631	636,4	203	14,0
По «Landsat 8»	957	560,8	635	546,4	322	14,4

**5. Создание базы геоданных Центральной Азии.** Построена основа региональной базы геоданных (БГД), доступной широкому кругу пользователей из Центральной Азии и других стран. Разработаны концепция базы геоданных, методы хранения, модификации и доступа к оцифрованным компьютерным данным (топографические векторные слои и растры, тематические векторные слои и растры, табличные и текстовые документы).

Запущен веб-сервер и службы поддержки отображения данных, хранящихся в базе геоданных, через веб-доступ. В базу геоданных введены слои топографических карт масштаба М: 500000 (80% Центральной Азии), космические снимки Landsat (Кыргызстан), производится аккумулирование данных, поступающих с автоматических гидро-метео, GPS и сейсмостанций.

На основе БГД созданы платформа данных по снижению рисков бедствий (Всемирный банк, МЧС) и информационная система по безопасности школ и дошкольных образовательных организаций (Юнисеф, Мин обр. МЧС). Начата вторая стадия развития БГД как узла Национальной инфраструктуры пространственных данных. В результате предполагается создать БГД, отвечающую миро-

вым стандартам и открытую для свободного использования учеными и специалистами как Кыргызстана, так и других стран мира.

**6. «Региональная система раннего оповещения о землетрясениях» (ACROSS).** Разработка основы проекта была начата с 2015 года. ЦАИИЗ и GFZ совместно МЧС КР начал разработку основы проекта. Цель данного проекта – создание сети и системы мониторинга сильных движений (землетрясений) реального времени для городов Бишкек и Ош, которая используется МЧС КР, как основа системы раннего оповещения населения и муниципальных структур.

На данный момент установлены 12 станций в радиусе от 50 до 400 км. вокруг г. Бишкек и 6 станций в радиусе от 50 до 200 км. вокруг г. ОШ, которые в режиме реального времени передают все произошедшие в этом радиусе сейсмические события в ЦАИИЗ и ЦУКС МЧС. На Рис. 7 представлена «Карта -схема установленных 18 станций по сильным движениям на территории Кыргызской Республики».

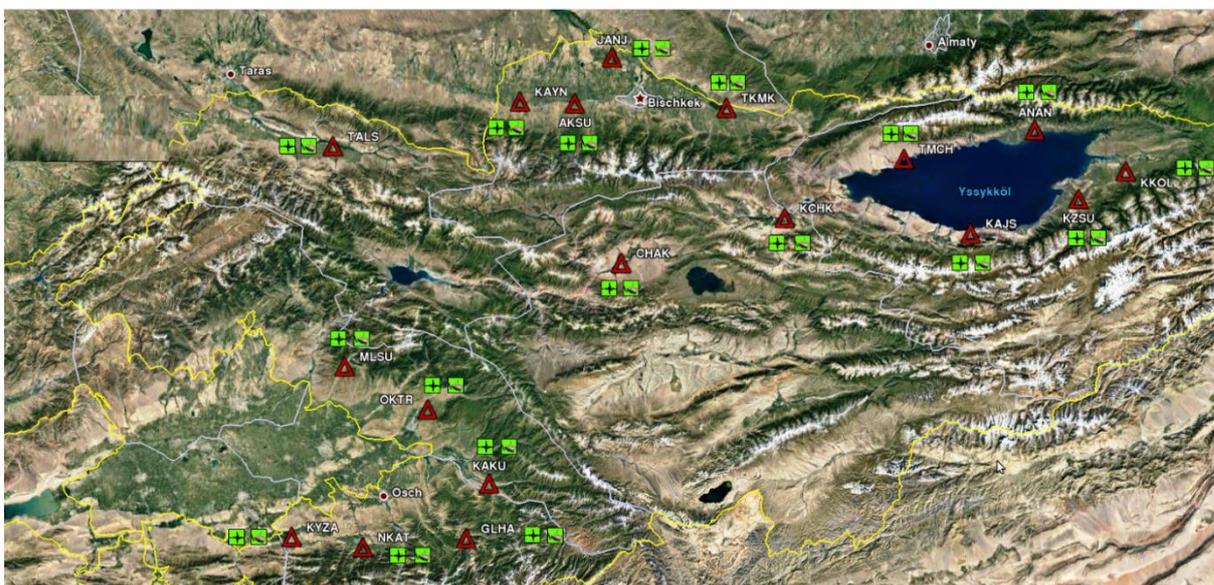


Рис. 7. Карта -схема установленных 18 станций по сильным движениям на территории Кыргызской Республики.

## Заключение

1. Содержание данной статьи включает в себя, прежде всего, информацию и результаты об основных научно-исследовательских проектах, выполняемых отделами ЦАИИЗ.

2. Результаты исследований Отдела 1 сконцентрированы на изучении факторов и условий проявления оползневых процессов на территории южного Кыргызстана. Оценка и анализ современных тектонических движений и их активность в зоне Памиро-Тянь-Шанского сочленения.

3. По Отделу 2 представлены результаты определения баланса массы, морфологических и динамических характеристик репрезентативных ледников и ледниковых систем Кыргызстана в условиях изменения климата. Приведены результаты инвентаризации и обновлённого каталог ледников Кыргызстана.

4. Деятельность Отдела 3 по созданию и совершенствованию базы геоданных и системы мониторинга за изменениями в окружающей среде на территории Центральной Азии. Создание сети и системы мониторинга сильных движе-

ний (землетрясений) реального времени для городов Бишкек и Ош, которая используется МЧС КР, как основа системы раннего оповещения населения и муниципальных структур.

### Литература

1. Молдобеков Б.Д., Усупаев Ш.Э. О сети мониторинга для оценки георисков в Центральной Азии. В кн: Мониторинг и прогноз возможной активизации чрезвычайных ситуаций на территории Кыргызской Республики (издание 12-ое с дополнениями). Б.: МЧС КР, 2015. С. 637 - 640.
2. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Абдыбачаев У.А., Сарногоев А.К., Ибатулин Х.В., Ормуков Ч., Коноков Т., Серенков А. Метод дистанционной кадастризации оползней Кыргызстана. В кн: Мониторинг и прогноз возможной активизации чрезвычайных ситуаций на территории Кыргызской Республики (издание 12-ое с изменениями и дополнениями). Б.: МЧС КР, 2015. С. 654 - 658.
3. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Усубалиев Р.А., Шакиров А.Э., Орунбаев С.Ж., Дудашвили А.С., Кальметьева З.А., Коноков Т., Мамбеталиев Э., Шаршебаев А., Серенков А., Жусупова К. Комплексное зондирование ледника Энилчек у озера Мерцбахера в верховье реки Сары-Джаз Кыргызстана. Интернет журнал ВАК КР, <http://www.nakkr.kg/jurnalVAK/>. - №1, 2015. 18 с.
4. Молдобеков Б.Д., Усупаев Ш.Э. Инженерная оценка опасных процессов и явлений в Центральной Азии. Материалы международной конференции «Развитие наук о Земле в Кыргызстане: состояние, проблемы и перспективы» посвященной 100-летию юбилею академика М.М. Адышева. Бишкек. 2015 г. С. 215-220.
5. Трофимов В.Т., Молдобеков Б.Д., Усупаев Ш.Э. Опыт дистанционного и наземного исследования геосферной среды в Центральной Азии. В кн: Мониторинг и прогноз возможной активизации чрезвычайных ситуаций на территории Кыргызской Республики (издание 13-ое с изменениями и дополнениями). Б.: МЧС КР, 2016. С. 671-673.
6. Молдобеков Б.Д., Усупаев Ш.Э., Зубович А.В., Кальметьева З.А., Шакиров А.Э., Шаршебаев А. О сети мониторинга изменений природной среды ЦАИИЗ. Материалы международной научно-практической конференции «Совершенствование прогнозирования и управления стихийными бедствиями», посвященной десятилетию кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях» и Учебного, научно-технического центра», « Развитие гражданской защиты» КРСУ и МЧС КР 16 мая 2016 г. Бишкек. 2016, С. 62-66.
7. Молдобеков Б.Д., Усупаев Ш.Э., Орунбаев С.Ж., Абдыбачаев У.А. Опыт инженерных исследований георисков горных стран. МАТЕРИАЛЫ XII ОБЩЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ИЗОЫСКАТЕЛЬСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ 7–9 ДЕКАБРЯ 2016 г. Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. М.: ООО «Геомаркетинг». 2016. С. 395 - 401
8. Молдобеков Б.Д., Усупаева Ш.Э., Кальметьева З.А., Зубович А.В., Шакиров А.Э., Жусупова К.Ж., Шаршебаев А.К. О развитии сети мониторинга на примере составления каталога землетрясений в Кыргызстане и Центральной Азии. В кн: Мониторинг и прогноз возможной активизации чрезвычайных ситуаций на территории Кыргызской Республики (издание 14-ое с изменениями и дополнениями). Б.: МЧС КР, 2017. С. 649-651.
9. Молдобеков Б.Д., Усупаев Ш.Э., Зубович А.В., Шакиров А.Э., Шаршебаев А.К. Информационные технологии и сети мониторинга георисков в Кыргызстане и Центральной Азии. Спецвыпуск посвященный 20-ой годовщине Национального единства и Году молодежи Таджикистана на основе Материалов международной

научно-практической конференции на тему «Климатические изменения и гидро-ресурсы Средней Азии». Серия естественных наук. Научный журнал: «Наука и инновации» №1. Душанбе: «СИНО». 2017. С. 70 – 73.

10. Молдобеков Б.Д., Усупаев Ш.Э., Ерохин С.А., Сарногоев А.К., Абдрахманова Г.А. Проблемы селевой безопасности в Кыргызстане и Центральной Азии. Международная научно-практическая конференция «Селевая безопасность: оценка, прогноз, защита» г. Алматы (Казахстан) 22-25 августа 2017 г. С.133 -140.

11. Молдобеков Б.Д., Усупаев Ш.Э., Зубович А.В., Усубалиев Р.А., Орунбаев С.Ж., Шакиров А.Э., Шаршебаев А.К., Осмонов А., Азисов Э., Борисов М. Мониторинг георисков и система раннего оповещения в Кыргызстане. В кн: Мониторинг и прогноз возможной активизации чрезвычайных ситуаций на территории Кыргызской Республики (издание 15-ое с дополнениями). Б.: МЧС КР, 2018. С. 726-730.

12. Усупаев Ш.Э., Орунбаев С.Ж., Молдобеков Б.Д. Комплексные сейсмогеологические исследования георисков на примере городов Кыргызстана. Материалы 13-ой Международной сейсмологической школы. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Обнинск-2018. С. 268 – 272.

13. Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж., Усупаев Ш.Э. Новые  $V_s$  карты и инженерные решения для сейсмостойкого строительства и снижения георисков от землетрясений в Кыргызстане. Материалы Второго Международного симпозиума, посвященного 75 летию НАН КР. Современные проблемы механики: прогноз и предупреждение горных ударов и землетрясений, мониторинг деформационных процессов в породном массиве. Бишкек – 2018. С. 286 – 298.

14. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж. Инженерные системы интегрированного мониторинга георисков и раннего оповещения от сейсмомкатастроф и  $V_s$  картирование в Кыргызстане и Центральной Азии. Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики. Материалы научно-практической конференции «Новые подходы в сфере снижения рисков бедствий» посвященной Дню снижения рисков бедствий в Кыргызской Республике». Бишкек, 2018. С. 158 -163.

15. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Зубович А.В., Усубалиев Р.А., Шакиров А.Э., Орунбаев С.Ж. Мониторинг георисков, трансформирующих литосферу Кыргызстана и Центральной Азии. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (Изд. 16-е с изм. и доп.), Б.: МЧС КР. 2019 – С. 751-754.

16. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Абдыбачаев У.А. Карта актуотектонической трансформации кровли литосферы для мониторинга и типизации оползней Кыргызстана. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (Изд. 16-е с изм. и доп.), Б.: МЧС КР, 2019 – С. 759 – 763.

17. Дайыров М. А., Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Нарама Ч. Космический и наземный мониторинг георисков от прорывоопасных гляциальных озер Кыргызского Тянь-Шаня. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (Изд. 16-е с изм. и доп.). Б.: МЧС КР. 2019 – С. 765 – 779.

18. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Орунбаев С.Ж., Талант А., Зарылбек Р., Анаркулов Б.А. Дистанционный и наземный мониторинг оползня Татыр в Чонкурчаке Чуйской впадины Кыргызстана. Журнал Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. Душанбе. №1. С. 38 – 45.

**SESSION 1 / СЕКЦИЯ 1**  
**МОНИТОРИНГ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**  
**ЗЕМЛИ**  
**MONITORING AND RESEARCH OF EARTH GEODYNAMIC PROCESSES**

**МОНИТОРИНГ СТРУКТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КУРПСАЙСКОЙ ПЛОТИНЫ**  
**В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ**  
**НЕДОРОГОСТОЯЩИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ**

**Пилц Марко, Флеминг Кевин, Питторе Массимилиано**  
**GFZ - Немецкий исследовательский центр наук о Земле, Потсдам, Германия**  
**Орунбаев Сагынбек**  
**Центрально-азиатский институт прикладных наук о Земле, Бишкек**

**STRUCTURAL HEALTH MONITORING OF THE KURPSAI DAM IN THE KYRGYZ**  
**REPUBLIC USING LOW-COST SEISMIC SENSORS**

**Pilz Marco, Fleming Kevin, Pittore Massimiliano**  
**GFZ – German Research Center for Geosciences, Potsdam, Germany**  
**Orunbaev Sagynbek**  
**Central Asian Institute for Applied Geosciences, Bishkek, Kyrgyzstan**

По проекту MI-DAM (Мультипараметрический мониторинг и оценка риска ГЭС в Кыргызстане) при поддержке Федерального министерства образования и научных исследований Германии, на Курпсайской ГЭС установлены были недорогие сейсмические датчики оценки устойчивости плотины. Многопараметрическая схема оценки сейсмического риска важна для проектов строительства ГЭС. Полученные записи, параметры функций хрупкости конструкции, важны для их интегрированного расчета на месте и принятия решений из удаленного центра. Записи сильного движения, пространственных изменений фазы движения грунта при открытии / закрытии дислокаций и сейсмических шумов колебаний грунта естественных и антропогенных процессов, позволяют непрерывно оценивать механические характеристики плотины и их изменения во времени.

As part of a German Federal Ministry of Education and Research-supported project MI-DAM (Multi-parameter monitoring and risk assessment of hydroelectric dams in the Kyrgyz Republic), an array of low-cost seismic sensing units have been installed on the Kurspsai hydroelectric dam. This is one of a series of dams located along the Naryn River in the western Kyrgyz Republic. The intention is to develop and test a robust, cost-effective and flexible structural health monitoring system (SHM) for such infrastructure, which will include a multi-parameter risk assessment scheme. These studies are potentially a valuable contribution to plans for constructing hydroelectric dams in the Kyrgyz Republic, as well as the importance of assessing the state of existing installations with respect to the region's seismicity.

The acquired recordings will allow the critical parameters needed for monitoring such features as the structure's fragility curves to be directly integrated into the on-site calculations, allowing some degree of decision-making without the necessity of a remote centre. Strong motion recordings will determine if the dam exhibits a transient non-stationary behaviour as its fundamental frequency changes as a result of an event, then returning to the starting value with time. In addition, methods such as lapse time coherency will be employed to monitor spatial changes in the phase of ground motion resulting from the opening/closing of the joints and lateral excitation. Finally, the recording of seismic noise, i.e., the persistent vibration of the ground due to natural land anthropogenic processes, will allow the continuous assessment of the dam's mechanical characteristics and any possible changes over time.

## ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ И КАРТИРОВАНИЕ ОПОЛЗНЯ НА ГОРНЫХ СКЛОНАХ ПАМИРА ЮГО-ВОСТОЧНЫЙ ТАДЖИКИСТАН

Phratharine Sopitthammakul<sup>1</sup>, Malcolm Whitworth<sup>1</sup>, Peter Redshaw<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Школа наук о Земле и окружающей среде, Портсмутский университет,  
Великобритания

<sup>2</sup>Ove Arup & Partners International Limited, Великобритания

## LANDSLIDE INVENTORY MAPPING AT THE PAMIR MOUNTAINS SOUTHEAST TAJIKISTAN

*Phratharine Sopitthammakul<sup>1</sup>, Malcolm Whitworth<sup>1</sup>, Peter Redshaw<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>School of Earth and Environmental Sciences, University of Portsmouth, UK

<sup>2</sup>Ove Arup & Partners International Limited, UK

**Аннотация.** Инвентаризация оползней в горных регионах Памира необходима была для получения их характеристик и угроз от них на площади 11207 км<sup>2</sup> вдоль строящегося шоссе П-41 Памир. Изучались оползни с использованием дистанционных снимков с использованием изображений со спутников SPOT 6 и 7 с разрешением 1,5 м, а также изображений Google Earth и Bing. Выявлено более 900 оползней. Исследованы также селевые потоки, камнепады, лавины, поступательные и вращательные оползни. Оползни при их внезапном сходе приводят к потерям жизней людей, повреждению инфраструктуры населения и ущербу сельскохозяйственным угодьям. Полученные дистанционными методами карты и схемы будут проверены полевыми исследованиями, а затем предоставят информацию для будущих исследований подверженности оползням, оценке опасности и риска.

**Ключевые слова:** селевые потоки, оползни, камнепады, лавины, , опасности, риски, сельскохозяйственные угодья, ущерб

**Annotation.** An inventory of landslides in the mountainous regions of the Pamir was necessary to obtain their characteristics and threats from them on an area of 11,207 km<sup>2</sup> along the P-41 Pamir highway under construction. Landslides using remote images were studied using SPOT 6 and 7 images with a resolution of 1.5 m, as well as Google Earth and Bing images. Over 900 landslides have been identified. Mudflows, rockfalls, avalanches, translational and rotational landslides were also investigated. Landslides during their sudden descent lead to loss of life, damage to the infrastructure of the population and damage to agricultural land. Maps and diagrams obtained by remote sensing will be verified by field studies and then provide information for future studies of landslide exposure, hazard and risk assessment.

**Keywords:** mudflows, landslides, rockfalls, avalanches, rock-pads, dangers, risks, agricultural land, damage

**Introduction.** Tajikistan is a landlocked country which over 90 percent is mountainous including the Pamir mountains. It is vulnerable to a variety of disasters. Landslides are

a significant natural hazard caused by ground shaking during earthquakes, snow melt, intense rainfall and river erosion of slopes. The associated movement of rock, debris or earth downslope can cause significant harm to local communities and settlements, damage to linear infrastructure and agriculture land. Landslide inventory mapping is the simplest way to display the outline, nature and distribution of landslides in an area, and often forms the basis for any subsequent hazard or risk assessment. It can be prepared by using traditional methods or new techniques [1].

**Methods.** Traditional methods consist of the visual interpretation from aerial photographs, field investigation and the collection of historical landslide data. New techniques involve the visual, semi-automatic and automatic analysis of satellite imagery [2 - 4].

**Research results.** Since the fall of the Union of Soviet Socialist Republics (USSR) in 1991, landslide monitoring and research in Tajikistan has declined. Previously, the research was generally presented in the Russian, on paper and typically not available in digital format. Recent research on landslide investigation in Tajikistan has been published, including landslide inventory mapping of Tajikistan in Russian [5], landslide study for the Usoi landslide dam and Lake Sarez [6–8]; landslides triggered by the Khait earthquake [9]; the Barsem disaster [10,11], and general landslide studies for regional area in Central Asia [12–16].

This research suggests that while many investigations have been conducted to understand landslides in this region. In Tajikistan, landslide inventory mapping has been restricted to specific areas or single events, and a spatial and temporal inventory of landslides over large areas has not yet been carried out in the Pamir mountains. This project aims to develop a robust spatial landslide inventory and hazard model. The study area is located in the Pamir mountain ranges, southeast Tajikistan (Figure 1). The focus of the study is the potential impact of landslides to settlements located in the flood plains and to the M41 highway which connects Kyrgyzstan, Tajikistan, Uzbekistan and Afghanistan in Central Asia and also serves as the main supply route in Gorno-Badakhshan Autonomous Region of Tajikistan. This road has in the past been affected by landslides generating severe economic loss and resulting in closure of the road and diversion of traffic, with significant impact on the region [10,11]. For this reason, it is necessary to study landslide history and classify landslide types along the Pamir Highway in order to analyse and generate landslide inventory map. Therefore, this study aims to characterize the extent and type of landslides using remote sensing techniques in Geographic Information System (GIS) environment.

**Methodology.** Satellite remote sensing images provide effective tool for identifying and mapping past landslides, in this study, SPOT 6 and 7 imageries were used together with Google Earth and Bing Map imagery. SPOT 6 and 7 imageries with 1.5 m resolution from 2013 to 2017 were provided by the European Space Agency (ESA) covering 11,207 km<sup>2</sup> of the study area in the Pamir mountains (Figure 1). This data was supplemented with use of Bing imagery, while Google Earth allowed 3D visualisation of the area to assist with the landslide identification. It is likely that more accurate identification is increased when all images are combined together to characterise previous landslides. Prior to landslide mapping, glacial landforms such as moraines, rock glaciers and glaciofluvial deposits were excluded from the analysis (Figure 2) to avoid confusion with landslide. Landslides were recognized through the visual analysis in GIS database using ArcGIS 10.5.1. Landslide interpretation was based on the criteria as follows: geomorphological features; drainage, erosion and hydrological features; soil or vegetation tones; human features and land use patterns.

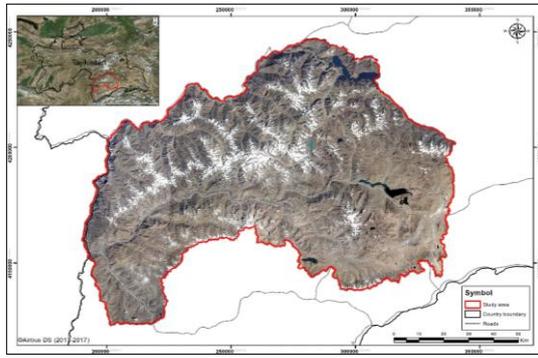


Figure 1 Location of the study area on SPOT 6 and 7 imagery



Figure 2 Example of glacial landforms excluding from landslide

Other characteristic features such as tone, colour, pattern, shape, shadow and texture were also performed to identify landslides. Then, landslides boundaries were defined using a polygon feature in GIS with attribute information including type, material, style, activity and percent of vegetation.

**Results.** This project is still ongoing and at the time of writing, 40% of the study area has been covered. Over 900 landslides have been recognized in the study area. These include mudflows, debris flows, debris slides, rockslides, rock avalanches, translational and rotational slides (Figure 3).

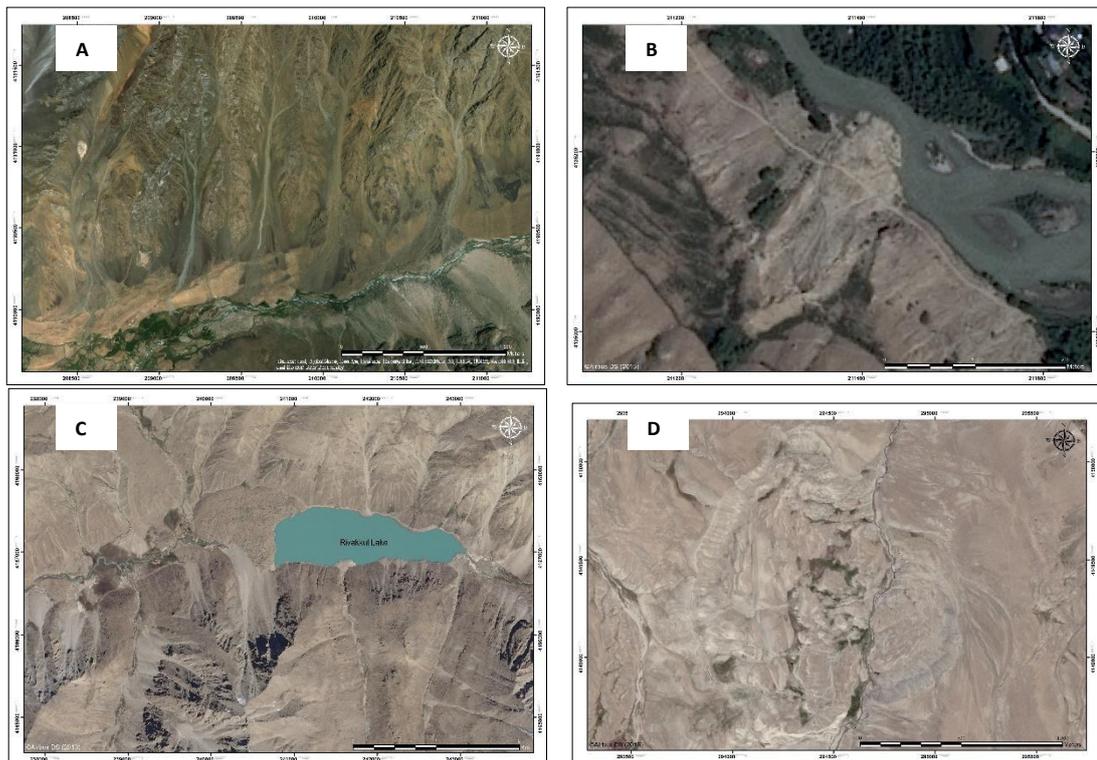


Figure 3 Examples of landslide types mapped in the Pamir Mountains: mudflow (A), debris flow (B), rockslide (C), and rotational slide (D)

Several rockslides have dammed rivers and created lakes such as Rivakkul Lake, Yashikul Lake and Sarez lake. Meanwhile, numerous glacial lakes have been formed by moraines or rock glaciers, and these may pose a future outburst risk. For example, Dasht Lake at the end moraine in the headwater of the Shakdara valley was outburst on 7 August 2002. The debris flow generated had a runout of around 10.5 km.

inundating the Dasht village. Another remarkable landslide event was surface deformation from the Barsem mudflow on 16 July 2015. Source, runout and deposition areas were well recorded on SPOT images (Figure 4). It is also apparent from these images that almost one third of the resident area was submerged, muddy and destroyed including the bridges and the Pamir highway.

**Future work.** The remote sensing mapping is continuing and field investigation is planned to validate this landslide interpretation. Next, landslide causative factors will be prepared and overlaid with landslide inventory map to derive landslide susceptibility map. Then, the model results will be validated using an area under curve method. An annual probability of landslide occurrence will be estimate to generate landslide hazard map. Finally, the measure of vulnerability assessment, elements at risk and landslide hazard will be integrated to derive a quantitative measure of the risk from landslides along the M41 road in the Pamir mountain range.

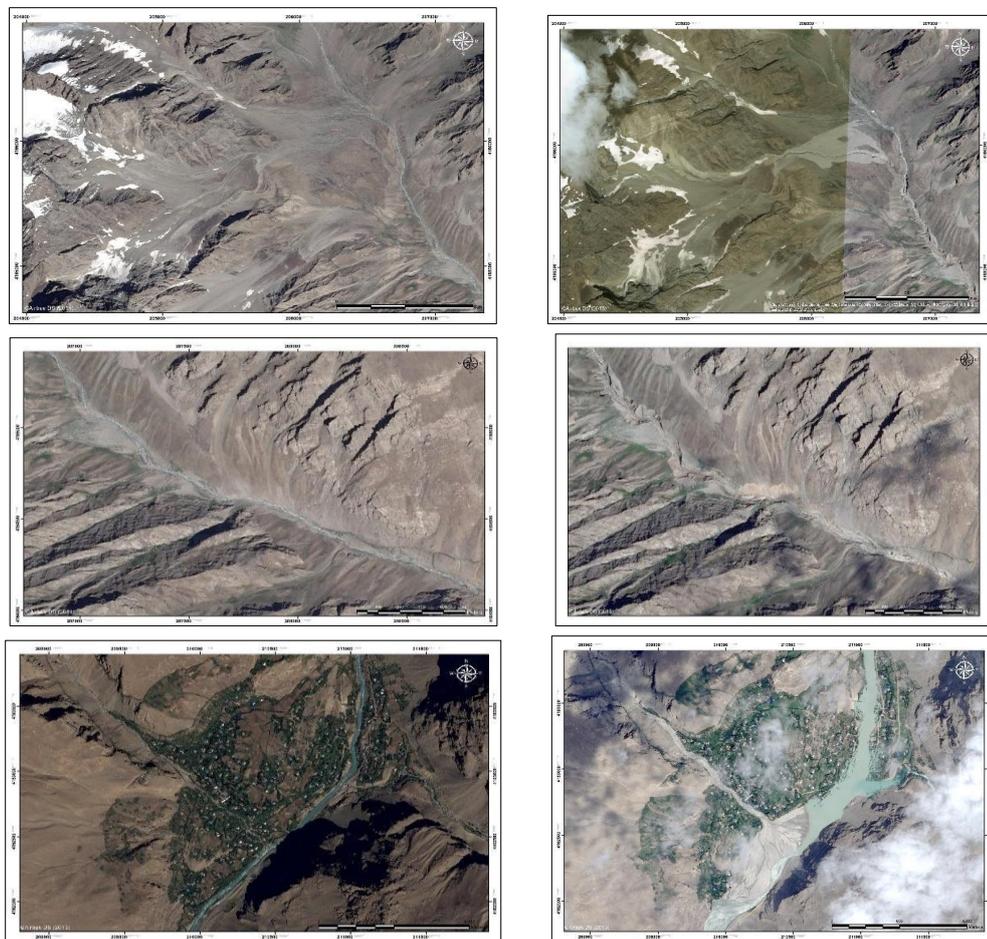


Figure 4 The changes on source, runout and deposition areas of the Barsem mudflow, before (left) and after event (right)

## Conclusions

1. There is little research focused on landslide inventory for regional area in the Pamir mountains, the present study was designed to identify characteristics of landslides along the M41 Pamir Highway covering an area of 11,207 km<sup>2</sup>.

2. Landslides have been identified using 1.5 m resolution SPOT 6 and 7 imageries along with Google Earth and Bing imagery. The research is still ongoing, but to date, the study has identified over 900 landslides including mudflows, debris flows, debris slides, rockslides, rock avalanches,

translational and rotational slides.

3. Landslides can result in loss and damage when they encounter community, infrastructure and agriculture land such as the Dasht Lake outburst generating debris flow and the Bersem mud-flow. These are a clear evidence that indicates the loss from landslide and raise public awareness. Furthermore, these interpretations will be verified by field investigation and then provide the following insights for future research on landslide susceptibility, hazard and risk assessment.

#### **List of references**

- 1.. Guzzetti F, Mondini AC, Cardinali M, Fiorucci F, Santangelo M, Chang K-T. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Rev.* 2012;112:42–66.
2. Khampilang N. Landslide Assessment in a Remote Mountain Region: a Case Study from the Toktogul Region of Kyrgyzstan, Central Asia. University of Portsmouth. 2015.
3. Lacroix P, Zavala B, Berthier E, Audin L. Supervised method of landslide inventory using panchromatic SPOT5 images and application to the earthquake-triggered landslides of Pisco (Peru, 2007, Mw8.0). *Remote Sens.* 2013;5:2590–616.
4. Mondini AC, Viero A, Cavalli M, Marchi L, Herrera G, Guzzetti F. Comparison of event landslide inventories: The Pogliaschina catchment test case, Italy. *Nat Hazards Earth Syst Sci.* 2014;14:1749–59.
5. ADRC country report. Country Report for Asian Disaster Reduction Center. 2006;1–23.
6. United Nations. Usoi Landslide Dam and Lake Sarez: an assessment of hazard and risk in the Pamir mountains, Tajikistan. United Nations Publication. New York and Geneva; 2000. 115 p.
7. Alford D, Cunha SF, Ives JD, Alford D, Ives JD. Lake Sarez, Pamir Mountains, Tajikistan: Mountain Hazards and Development. *Mt Res Dev.* 2000;20(1):20–3.
8. Raetzo H. Hazard Assessment of Lake Sarez Rockslides and Usoy Dam in Pamir Mountains (Tadjikistan ). *Ital J Eng Geol Environ.* 2006;(1):193–6.
9. Evans SG, Roberts NJ, Ischuk A, Delaney KB, Morozova GS, Tutubalina O. Landslides triggered by the 1949 Khait earthquake, Tajikistan, and associated loss of life. *Eng Geol.* 2009;109:195–212.
10. Zimmermann M, Fuchs S, Keiler M. Process chains in high mountain areas and multi-hazards of different scales – the Barsem disaster , Tajikistan. *EGU Gen Assem Conf Abstr.* 2016;18.
11. Keiler M, Zimmermann M, Bigler S, Fuchs S. Assessing a large-scale debris flow in Barsem , Tajikistan : exceptional size , duration and process chain. *EGU Gen Assem Conf Abstr.* 2018;20.
12. Thurmann M. Natural Disaster Risks in Central Asia: A synthesis. 2011;47.
13. Schneider JF, Gruber FE, Mergili M. Recent cases and geomorphic evidence of landslide-dammed lakes and related hazards in the mountains of central Asia. In: *Proceedings of the Second World Landslide Forum 3-7 October 2011.* Rome; 2011. p. 57–64.
14. Rogers J, Ahmed M. Discussion of Risk Factors for Triggering of Rockslide Avalanche Dams in Pakistan Afghanistan and Tajikistan and Mitigation Strategies. In: *47th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium 23-26 June 2013.* San Francisco, CA, USA: American Rock Mechanics Association; 2013.
15. Saponaro A, Pilz M, Bindi D, Parolai S. The contribution of EMCA to landslide susceptibility mapping in central Asia. *Ann Geophys.* 2015;58(1):1–9.
16. Strom A, Abdrakhmatov K. *Rockslides and Rock Avalanches of Central Asia : Distribution, Morphology, and Internal Structure.* Amsterdam, Netherlands: Elsevier Inc.; 2018.



## ПАЛЕОЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ГОРНОГО АЛТАЯ

*Деев Е.В., Турова И.В., Позднякова Н.И.*

## PALEOEARTHQUAKES OF THE GORNY ALTAI

*Deev E.V., Turova I.V., Pozdnyakova N.I.*

**Аннотация:** Проведенные палеосейсмологические исследования позволяют выявить три зоны концентрации палеоартроз в Горном Алтае. Поверхностные разрывы обнаружены в пределах зоны разлома Курай, образовавшейся в эпицентральных зонах палеоартротрясений ( $M_w = 6,7-7,6$ ), которые произошли 6,5, 5,8, 3,2 и 1,3 тыс. лет назад. Сейсмиды были получены в результате палеоземлетрясений ( $M \geq 5-5,5$ ) вдоль разлома Катунь, произошедшего около 150 и 90 тыс. лет назад, с интервалами 38–19 и 19–12,5 тыс. лет и после 12,5 тыс. лет ( $M_w = 7,2-7,6$ ). Следы другого события ( $I \geq 5$ ), приуроченного к периоду с III века до нашей эры до I века нашей эры, были обнаружены при изучении скифского некрополя, расположенного в северной части разлома Катунь. В зоне Южно-Терехтинского разлома обнаружены палеоартрени, произошедшие в VII – VIII веках нашей эры ( $M_w = 7.4-7.7$ ) и 16 тыс. лет назад ( $M \geq 7$ ). Последнее вызвало образование запрудного озера, разрушенного землетрясением около 6 тыс. лет назад ( $M \geq 7$ ). Сейсмиды палеоземлетрясений ( $M \geq 5-5.5$ ) зарегистрированы в бассейне реки Уймон с возрастом 100–90 и 77 ка.

**Ключевые слова:** палеоземлетрясение, обрыв разлома, сейсмиды, палеосейсмология, археосейсмология, зона разлома Курай, разлом Южно-Терехтинский, разлом Катунь, Горный Алтай

**Abstract:** The conducted paleoseismological studies reveal three zones of concentration of the paleoearthquakes in Gorny Altai. The surface ruptures are detected within the Kurai Fault zone, which were formed in the epicentral zones of the paleoearthquakes ( $M_w = 6.7-7.6$ ) that occurred 6.5, 5.8, 3.2, and 1.3 ka ago. Seismites were produced by paleoearthquakes ( $M \geq 5-5.5$ ) along the Katun Fault that occurred about 150 and 90 ka, in the 38–19 and 19–12.5 ka intervals, and after 12.5 ka ( $M_w = 7.2-7.6$ ). Traces of another event ( $I \geq 5$ ), timed in the range from the III century BC to the I century AD, were discovered during studies of a Scythian necropolis located in the northern end of the Katun Fault. In the zone of the South Terekhta Fault, the paleoearthquakes that occurred in VII–VIII centuries AD ( $M_w = 7.4-7.7$ ) and 16 ka ago ( $M \geq 7$ ) are revealed. The latter triggered the formation of a landslide-dammed lake which was destroyed by the earthquake about 6 ka ago ( $M \geq 7$ ). Seismites of the paleoearthquakes ( $M \geq 5-5.5$ ) are recorded in the Uimon Basin with an age of 100–90 ka and 77 ka.

**Keywords:** paleoearthquake, fault scarp, seismites, paleoseismology, archaeoseismology, Kurai Fault zone, South Terekhta Fault, Katun Fault, Gorny Altai

**Введение и постановка проблемы.** Северная часть Алтайского внутриконтинентального орогена – Горный Алтай – относится к территориям Центральной Азии с повышенной степенью сейсмической опасности, которая определяется как наличием собственных, генерирующих сильные землетрясения, активных структур, так и сейсмогенерирующих разломов в смежных районах Рудного, Монгольского и Китайского Алтая. Согласно последнему варианту сейсмического районирования территории Российской Федерации в пределах юго-восточной и центральной частей Горного Алтая присутствуют разломы, с которыми могут

быть связаны землетрясения с магнитудами  $M = 7.0-7.5$ . Возможная интенсивность землетрясений в этих районах оценена в  $I \geq 8-9$  баллов в зависимости от периода повторяемости сотрясений в диапазоне от 500 до 10000 лет [1].

Для Юго-Восточного Алтая эти выводы подкреплены как сейсмологическими, так и палеосейсмологическими данными [2].

Однако для центральной части Горного Алтая землетрясения с такими параметрами не зарегистрированы за период сейсмологических наблюдений, как и очаговые зоны сильных голоценовых землетрясений не выявлены при палеосейсмологических исследованиях. В докладе представлены результаты новых палеосейсмологических и археосейсмологических исследований, позволяющие существенно расширить и структурировать наши представления о палеосейсмичности юго-восточной и центральной частей Горного Алтая.

**Методика исследований.** Для выявления поверхностных разрывов (разломных уступов) палеоземлетрясений, использовался морфоструктурный анализ разномасштабных топографических карт, цифровых моделей рельефа Земли, космоснимков. Полевое картирование разломных уступов включало детализацию их морфологии (высота, протяженность, сегментация) с использованием систем GPS. Их внутренняя структура установлена путем картографирования стенок траншей (трэнчинг) и естественных обнажений. Оценка магнитуд и интенсивности палеоземлетрясений проводилась на основе эмпирических зависимостей между ними и параметрами сейсмогенных деформаций [3].

При исследовании рыхлых отложений в них фиксировались деформационные структуры – сейсмиды. Эти структуры наиболее важны для общей оценки сейсмичности регионов и расширения возрастного диапазона их сейсмической летописи. В тоже время, более 90% эффектов разжижения, при которых возникают сейсмиды, могут локализоваться на расстоянии до 50 км от эпицентра [4] или до 40 км от разлома, сгенерировавшего землетрясение [5].

Показано, что сейсмиды начинают формироваться в осадках, начиная с  $M \geq 5-5.5$  [4, 6], при этом, высота и ширина песчаных даек позволяет с использованием корреляционных зависимостей из [7] оценить  $M_s$  и интенсивность палеоземлетрясений.

При деформации курганов растущими разломными уступами их насыпи и кольцевые крепиды изламываются, оползают по склону уступа, в результате чего курганы приобретают эллипсоидные очертания [8, 9].

Исследования некрополя Чултуков Лог-1 в Горном Алтае позволили выявить деформации, связанные с сейсмогенными колебаниями грунта и формированием крупнообломочного коллювия, как насыпей и кольцевых крепид курганов, так и их каменных внутримогильных ящиков и скелетов погребенных [10].

Определения возрастов палеоземлетрясений базируются на результатах радиоуглеродного, ОСЛ и ИК-ОСЛ датирования абсолютных возрастов отложений и костей погребенных, результатах естественно-научного определения возраста археологических объектов.

**Результаты исследований. Палеоземлетрясения в системе Чуйской и Курайской впадин.** При палеосейсмологических исследованиях в северо-западном замыкании Чуйской впадины, вдоль Курайской зоны разломов, выявлен субширотный разломный уступ протяженностью 6.4 км и высотой от 0.5 до 8 м. Уступ разделен на 14 сегментов.

Сегментация определяется наличием кулисно надстраивающих друг друга разрывов и разрушением уступа оползнями и временными водотоками. Морфология уступа и результаты трэнчинговых исследований указывают на уникальный для Горного Алтая факт смещения предгорной равнины в сторону Курай-

ского хребта. Этот факт объясняется наличием взбросо-надвига с южным падением, который оперяет основной разлом с северным падением, обеспечивающий надвигание горного хребта на впадину.

В траншее, пройденной в сегменте 13, выявлены параметры плоскости сейсмогенного разрыва – надвиг с углом падения на юг в  $30^\circ$ . Амплитуда смещения по разлому 4.8 м позволила оценить Mw палеоземлетрясения в диапазоне 7.2–7.5.  $^{14}\text{C}$  возраст гумусированной супеси из нижней части коллювиального клина определяет возраст палеоземлетрясения интервалом 3400–3060 лет назад [9].

С учетом данных из [2], поверхностные разрывы этого возраста протянулись вдоль хребта на 75 км. Такая протяженность поверхностных разрывов соответствует Mw = 7.3, что хорошо согласуется с оценками, полученными на основе величины смещения по разлому. Тренчинговыми исследованиями в сегменте 7 выявлены следы еще двух палеоземлетрясений.

Более древнее событие фиксируется накоплением в разрезе палеопочвы, которая сформировалась во впадине, подпруженной разломным уступом. Возраст землетрясения оценен по результатам AMS  $^{14}\text{C}$  датирования палеопочвы – ~ 5.8 тыс. лет.

При взбросовой подвижке последнего землетрясения произошло окончательное оформление уступа, что привело к деформациям курганов могильника Туралу-Джурт-III. Верхняя возрастная граница землетрясения (~1.3 тыс. лет) оценена при AMS  $^{14}\text{C}$  определении возраста костного материала из верхней части коллювиального клина. Амплитуда смещения по разлому 1.8 м позволила оценить магнитуду землетрясения – Mw = 6.9–7.1 [9, 11].

С учетом данных из [2], протяженность зоны сейсморазрывов землетрясения составила 40 км, что соответствует Mw = 6.9 и подтверждает результаты тренчинговых исследований. Параметры разломного уступа говорят о том, что землетрясение около 5.8 тыс. лет назад имело Mw  $\approx$  7 [11].

Еще один разломный уступ в Курайской зоне разломов выявлен в северной части одноименной впадины. Он субширотно протянулся на 1.9 км и является смыкающим сегментом между форберговыми поднятиями, разделяющими Акташский рампы и Центрально-Курайскую впадину [12].

Уступ высотой от 2–3 до 15 м сечет позднечетвертичный пролювиальный конус выноса. Тренчинговыми исследованиями на его западном краю выявлен сейсмогенный взброс, висячем крыле которого отложения собраны в приразломную складку. Подвижка с амплитудой 1.2 м произошла при землетрясении с Mw = 6.7–7.0 и возрастом, оцененном по результатам AMS  $^{14}\text{C}$  датирования отложений коллювиального клина, ~ 6.5 тыс. лет [11].

Показано наличие сейсмиков в отложениях Чуйской и Курайской впадин с возрастом от нижнего плейстоцена до 100–50 тыс. лет.

Они образуют маломощные (от первых см до 1 м), повторяющиеся в разрезе и выдержанные по простиранию горизонты, которые подстилаются и перекрываются недеформированными слоями.

Деформации представлены трещинами и микроразломами, складками, а также подушечными, пламеневидными, облаковидными структурами, диапирами. Самостоятельным типом сейсмиков являются слои и линзы коллювия, сформировавшиеся за счет периодического сброса обломочного материала в озера. Эпицентры древних землетрясений ( $M \geq 5-5.5$ ,  $I \geq 6-7$  баллов), в результате которых образовались сейсмиды, связаны с разломными ограничениями Чуйской и Курайской впадин [13].

**Зона Катунского разлома.** Вместе с оперяющими структурами Катунский разлом образует зону растяжения шириной до 20–40 км и протяженностью

до 200 км. Он дренируется р. Катунь, участки расширения долины, которой совпадают с приразломными грабенами [14-15].

Грабены выполнены четвертичными отложениями мощностью до 400 м, фациальная архитектура которых рассмотрена в [14-16].

Сейсмологические данные показывают, что с разломом связано несколько десятков землетрясений с  $M = 3.0-4.0$ , три – с  $M = 4.1-5.0$ , одно – с  $M = 6.0$  [10].

Сейсмиды, выявленные в четвертичных отложениях Яломанского грабена (южный фланг Катунского разлома), и результаты AMS  $^{14}\text{C}$ , ОСЛ и ИК-ОСЛ определения возраста отложений, свидетельствуют о том, что кластеры и отдельные палеоземлетрясения проявлялись здесь ~ 150 и 90 тыс. лет назад, в интервалах 38–19 (с периодом повторяемости ~ 2 тыс. лет) и 19-12.5 тыс. лет назад, позднее 12.5 тыс. лет [10]. С учетом высоты и ширины песчаных даек и корреляционных зависимостей из [7] Ms землетрясения с возрастом моложе 12.5 тыс. лет составила 7.2–7.6,  $I = 10-11$  баллов.

Эти значения близки к максимально известным параметрам землетрясений для Горного Алтая и прилегающих территорий. Следовательно, очаговая зона голоценового землетрясения располагалась непосредственно в Яломанском грабене. Эпицентры других палеоземлетрясений ( $M \geq 5-5.5$ , интенсивность  $I \geq 6-7$  баллов), в результате которых сформировались сейсмиды, связаны либо с самим Катунским разломом, либо с его оперениями [10, 13-15, 17].

Следы еще одного палеоземлетрясения, произошедшего в период с III в. до н.э. по начало I в. н.э., выявлены при археосейсмологических исследованиях скифского некрополя Чултуков Лог-1, расположенного в Манжерокском грабене (северное окончание Катунского разлома).

Здесь зафиксированы: перекрытие коллювием курганов возле горного склона, разброс коллювиальных глыб на расстояние до 25 м от горного склона, повреждение ими насыпей и крепид курганов, разрушение каменных внутримогильных сооружений, нарушение анатомического положения скелетов погребенных, в том числе в захоронениях, не перекрытых коллювием.

Формирование сейсмодерупция, согласно шкале MSK-64, начинается при  $I \geq 5-6$  баллов [10, 14, 18].

**Район Уймонской внутригорной впадины.** Строение зоны Южно-Теректинского разлома, по которому Теректинский хребет надвигается на впадину, исследовано в карьере в районе пос. Теректа. Карьер вскрыл разломный уступ высотой 15–20 м. В его стенках обнажаются преимущественно коллювиально-делювиальные отложения. Их нарушают сейсмогенные разрывы, соответствующие двум палеоземлетрясениям. Древнему событию соответствуют два взбросо-надвига с амплитудами смещения 1.5 и 3.6 м.

Возраст землетрясения установить не удалось. Смещения вдоль разломов указывают, что его  $M_w = 7.1-7.4$ , а интенсивность могла достигать 9–10 баллов. При более молодом землетрясении с  $M_w = 7.4-7.7$  возник надвиг с амплитудой  $> 8$  м.  $^{14}\text{C}$  датирование углей из основания коллювиального клина позволило установить его возраст – 1.2–1.3 тыс. лет [11].

Еще один эпизод активизации Южно-Теректинского разлома зафиксирован в разломном уступе, расположенном в 1 км к востоку от пос. Маргала.

В результате подвижки в зоне разлома произошло дробление мраморов (MPR–O<sub>1</sub>) и проработка этой зоны подземными водами с отложением цементирующего обломки травертинового материала.  $^{14}\text{C}$  возраст травертинов указывает на то, что землетрясение ( $M \geq 7$ ,  $I = 9-10$  баллов) могло произойти ~ 16 тыс. лет назад. Оно послужило триггером для формирования сейсмогравитационных структур, образовавших плотину подпрудного озера.

Разрушение плотины и спуск озера коррелируется с сопоставимым по параметрам землетрясением на рубеже 6 тыс. лет назад. Ему соответствуют сейсмичности в озерных песках и алевролитах в виде подушечных синформ размером 4.5-5.5 м, песчаных вулканов, микроразломов и трещин. Наконец, следы более древних землетрясений с  $M \geq 5-5.5$  в пределах впадины фиксируются сейсмичностями в отложениях этапа спуска ледниково-подпрудного озера (100–90 тыс. лет) и в аллювии с возрастом  $\sim 77$  тыс. лет [11, 19-22].

### **Выводы**

1. Приведенные данные позволяют выделить в пределах Горного Алтая три зоны концентрации следов палеоземлетрясений, связанные с крупными морфоструктурами: Чуйско-Курайской системой впадин, Уймонской впадиной и Катунским разломом. Установлено положение очаговых зон палеоземлетрясений ( $M_w = 6.7-7.5$ ) с возрастом  $\sim 1.3, 3.2, 5.8, 6.5$  тыс. лет (Курайская зона разломов),  $\sim 1.3$  и 16 тыс. лет (Южно-Теректинский разлом), моложе 12.5 тыс. лет (Катунский разлом).

2. Зафиксированы вторичные палеосейсмодислокации землетрясений ( $M \geq 5-5.5, I \geq 6-7$  баллов) в нижнеплейстоценовых отложениях, в отложениях с возрастом 100–90 и 77 тыс. лет Чуйской и Уймонской впадин. Они указывают на палеоземлетрясения, которые произошли  $\sim 150, 90$ , в интервалах 38–19 и 19–12.5, 2.4–2 тыс. лет назад в зоне Катунского разлома.

### **Фондовая поддержка**

Палеосейсмологические и археосейсмологические исследования в Уймонской впадине, в зоне Катунского разлома и на восточном фланге Курайской зоны разломов выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-00389\_а. Исследования западного фланга Курайской зоны разломов выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 18-35-00280 мол\_а. Определения абсолютного возраста отложений частично выполнены при финансовой поддержке проект РНФ 19-17-00179.

### **Список литературы**

1. Уломов В.И., Богданов М.И., Трифонов В.Г., Гусев А.А., Гусев Г.С., Акатова К.Н., Аптикаев Ф.Ф., Данилова Т.И., Кожурин А.И., Медведева Н.С., Никонов А.А., Перетокин С.А., Пустовитенко Б.Г., Стром А.Л. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации. Пояснительная записка к комплексу карт ОСР-2016 и список населённых пунктов, расположенных в сейсмоактивных районах // Инженерные изыскания в строительстве, 2016. № 7. С. 49–121.
2. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В. Сильнейшие землетрясения на юге Горного Алтая в голоцене // Физика Земли, 2008. № 6. С. 31–51.
3. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement // Bull. Seismol. Soc. Amer., 1994. V. 84. Is. 4. P. 974–1002.
4. Galli P. New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction // Tectonophysics, 2000. V. 324. P. 169–187.
5. Лунина О.В., Андреев А.В., Гладков А.А. Закономерности проявления и модели локализации опасных геологических процессов при сейсмогенной активизации разломов на юге Сибири и в Монголии // Геология и геофизика, 2014. Т. 55. № 8. С. 1294–1313.
6. Papathanassiou G., Pavlides S., Christaras B., Pitilakis K. Liquefaction case histories and empirical relations of earthquake magnitude versus distance from the boarder Aegean region // Journal of Geodynamics, 2005. V. 40. P. 257–278.

7. Lunina O.V., Gladkov A.S. Seismically induced clastic dikes as a potential approach for the estimation of the lower-bound magnitude/intensity of paleoearthquakes // *Engineering Geology*, 2015. V. 195. P. 206–213.
8. Деев Е.В., Турова И.В., Корженков А.М., Лужанский Д.В., Гладков А.С., Родкин М.В., Абдиева С.В., Мажейка И.В., Рогожин Е.А., Фортуна А.Б., Муралиев А.М., Чаримов Т.А., Юдахин А.С. Результаты палеосейсмологических и археосейсмологических исследований в западной части Алабаш-Конуроленской внутригорной впадины (Южное Прииссыккулье, Кыргызстан) // *Геология и геофизика*, 2016. Т. 57. № 7. С.1381–1392.
9. Deev E.V., Turova I.V., Borodovskiy A.P., Zolnikov I.D., Oleszczak L. Unknown large ancient earthquakes along the Kurai fault zone (Gorny Altai): new results of palaeoseismological and archaeoseismological studies. *International Geology Review*, 2017. V. 59. Is. 3. P. 293–310.
10. Deev E., Turova I., Borodovskiy A., Zolnikov I., Pozdnyakova N., Molodkov A. Large earthquakes in the Katun Fault zone (Gorny Altai): Paleoseismological and archaeoseismological evidence // *Quaternary Science Reviews*, 2019. V. 203. P. 68–89.
11. Деев Е. В. Зоны концентрации древних и исторических землетрясений Горного Алтая // *Физика Земли*, 2019. № 3. С. 71-96.
12. Неведрова Н.Н., Деев Е.В., Санчаа А.М. Глубинное строение и характеристики краевых структур Курайской впадины (Горный Алтай) по данным геоэлектрики с контролируемым источником // *Геология и геофизика*, 2014. Т. 55. № 1. С. 119-132.
13. Деев Е.В., Зольников И.Д., Гуськов С.А. Сейсмичность в четвертичных отложениях Юго-Восточного Алтая // *Геология и геофизика*, 2009. т. 50. № 6. С.703-722.
14. Деев Е.В., Зольников И.Д., Бородовский А.П., Гольцова С.В. Неотектоника и палеосейсмичность долины нижней Катунь (Горный Алтай) // *Геология и геофизика*, 2012. Т. 53. № 9. С. 1154–1168.
15. Деев Е.В., Зольников И.Д., Лобова Е.Ю. Позднеплейстоцен-голоценовые сейсмогенные деформации в долине р. Малый Яломан (Горный Алтай) // *Геология и геофизика*, 2015. Т. 56. № 9. С. 1601–1620.
16. Зольников И.Д., Деев Е.В. Гляциальные суперпаводки на территории Горного Алтая в четвертичном периоде: обстановки формирования и геологические признаки // *Криосфера Земли*, 2013. Т. XVII. № 4. С. 74–82.
17. Деев Е.В., Гибшер А.С., Чигвинцева Л.А., Фролова Т.В., Рябинин А.Б. Микросейсмодислокации (сейсмичность) в плейстоценовых осадках Горного Алтая // *ДАН*, 2005. Т. 403. № 1. С. 71–74.
18. Деев Е.В., Бородовский А.П. По следам древних землетрясений в Горном Алтае // *Природа*, 2017. № 3. С. 86-88.
19. Деев Е.В., Зольников И.Д., Гольцова С.В., Русанов Г.Г., Еманов А.А. Следы древних землетрясений в четвертичных отложениях межгорных впадин центральной части Горного Алтая // *Геология и геофизика*, 2013. Т. 54. № 3. С. 410–423.
20. Деев Е.В., Зольников И.Д., Гольцова С.В., Русанов Г.Г., Еманов А.А., Гуськов С.А. Следы древних землетрясений в аллювии р. Катунь (Уймонская впадина, Горный Алтай) // *ДАН*, 2013. Т. 449. № 5. С. 558–563.
21. Деев Е.В., Зольников И.Д., Турова И.В., Русанов Г.Г., Ряполова Ю.М., Неведрова Н.Н., Котлер С.А. Палеоземлетрясения в Уймонской внутригорной впадине (Горный Алтай) // *Геология и геофизика*, 2018. Т. 59. № 4. С. 437–452.
22. Зольников И.Д., Деев Е.В., Русанов Г.Г., Назаров Д.В., Котлер С.А. Новые результаты OSL-датирования четвертичных отложений долины верхней Катунь (Горный Алтай) и прилегающей территории // *Геология и геофизика*, 2016. Т. 57. № 6. С. 1184–1197.

**ГРАВИТАЦИОННОЕ ВЛИЯНИЕ ЛУНЫ НА ЗЕМЛЮ КАК ДОЛГОСРОЧНЫЙ  
ПРЕДИКТОР СЕЙСМИЧНОСТИ**  
*Курскеев А.К., Амиров Н.Б.*

**THE GRAVITATIONAL INFLUENCE OF THE MOON ON THE EARTH AS A LONG-  
TERM PREDICTOR OF SEISMICITY**  
*Kurskeev A.K., Amirov N.B.*

**Аннотация:** Приведены результаты исследования по оценке вклада Лунных приливов в изменении сейсмичности Земли. Установлены законы о том, что вероятность возникновения землетрясений повышается при увеличении силового воздействия со стороны Луны на Землю, подтверждаются новыми экспериментальными данными о сильных землетрясениях. Многолетние гармонические составляющие деформаций проявлены в масштабах земной коры. Энергия, содержащаяся в приливообразующихся волнах, поступает в земную кору через земную поверхность. Ее достаточно для перемещения структурных неоднородностей земной коры, т.е. для развития процессов разрушения пород и, как следствие, формирования очаговых зон землетрясений.

**Ключевые слова:** Луна, приливы, сейсмичность, землетрясения, приливообразующие волны, разрушение пород, очаговые зоны.

**Abstract:** The results of a study evaluating the contribution of Lunar tides to changes in Earth's seismicity are presented. Laws have been established that the probability of occurrence of earthquakes increases with increasing force from the moon to the Earth, confirmed by new experimental data on strong earthquakes. Perennial harmonic components of the deformations are manifested on the scale of the earth's crust. The energy contained in tidal waves enters the earth's crust through the earth's surface. It is enough to move the structural inhomogeneities of the earth's crust, i.e. for the development of rock destruction processes and, as a consequence, the formation of focal zones of earthquakes.

**Key words:** moon, tides, seismicity, earthquakes, tidal waves, rock destruction, focal zones

Abstract. The results of a study to assess the contribution of lunar tides to changes in the seismicity of the Earth are presented.

**Введение.** Луна естественный спутник Земли [1]. Она движется по эллиптической орбите с периодом 27.32 суток (сидерический месяц). Полный цикл изменения взаимных положений Земли и Луны относительно Солнца составляет 29.5 суток (синодический месяц). Точки пересечения орбиты Луны с эклиптической делают полный оборот за 18.6 лет.

**Методология.** В конце XIX века А. Перре разработал два закона, по которым число дней с землетрясениями возрастает до 20% при передвижении Луны от квадратур к сизигиям (1 закон) и от апогея к перигею (2 закон) [2].

Речь в них шла только о времени увеличения сейсмичности.

**Результаты исследований.** Авторами [3] разработан объединённый закон, позволяющий рассчитать суммарные вертикальную и горизонтальную составляющие приливного ускорения на Землю. Численные модельные расчёты

показывают, что с изменением приливного ускорения от минимума до максимума количество землетрясений возрастает на 28-30%. Согласно закону И.Ньютона гравитационная сила взаимодействия между Землей и Луной выражается по формуле:  $F = G \frac{M_3 \times M_L}{L^2}$ , где  $G$  — гравитационная постоянная ( $6.67 \times 10^{-8} \text{ см}^3 \text{ с}^{-2} \text{ г}^{-1}$ ),  $M_3$  и  $M_L$  — массы Земли ( $5.977 \times 10^{27} \text{ г}$ ) и Луны ( $7.35 \times 10^{25} \text{ г}$ ) соответственно,  $L$  — расстояние между ними. Оно изменяется от  $363 \times 10^3 \text{ км}$  до  $405 \times 10^3 \text{ км}$  [4].

В табл. 1 приведены данные об изменении  $F$  в зависимости от изменения  $L$ ; относительно среднего значения  $3.845 \times 10^8 \text{ м}$ . где с уменьшением расстояния  $L$  гравитационная сила увеличивается.

**Таблица 1. Изменения гравитационных сил и деформации Земли в зависимости от изменения расстояния между нею и Луной**

Расстояние $L$ , м	$F$ , ( $\times 10^{24}$ ) г·см/с <sup>2</sup>	$a$ , ( $\times 10^{-2}$ ) см/с <sup>2</sup>	$g_i$ , см/с <sup>2</sup>	$R_i$ , км	$\Delta R$ , км	$\alpha$ , $10^{-5}$
$4.055 \times 10^8$ (апогей)	17.88	2.99	979.760	6378.89	-0.20	-3.1
$3.845 \times 10^8$ (среднее)	19.9	3.29	979.729	6378.98	-0.11	-1.7
$3.363 \times 10^8$ (перигей)	22.31	3.73	979.696	6379.09	—	—
$3.53 \times 10^8$ («аномальное»)	23.59	3.99	979.679	6378.98	-0.89	-4.0

Согласно второму закону И.Ньютона, под действием Луны Земля приобретает ускорение  $a = \frac{F}{M_3}$ . Оно с уменьшением расстояния возрастает (таблица 1, при расчете сила тяжести  $g$  на широте  $45^\circ \text{ с.ш.}$  принята  $\approx 980 \text{ см/с}^2$ ). Из таблицы видно, что из-за ускорения  $a$  сила тяжести изменяется, и как следствие, изменяется радиус Земли, определяемый по формуле  $R = \sqrt{\frac{G \times M_3}{0.33 \times g}}$ . Приращение радиуса Земли при «переходе Луны» из положения «перигей» на положение «апогей» радиус может сократиться до 0.2 км, а деформация Земли увеличиться до  $3 \times 10^{-5}$ . Такие изменения адекватно отразятся в динамике напряженного состояния планеты.

**Связь периодов активизации сейсмичности с приливообразующими силами Луны.** 25 ноября 2016 г. Луна находилась на минимальном расстоянии от Земли ( $3.53 \times 10^{10} \text{ км}$ ) – суперлуние [5].

На таком же расстоянии Луна находилась в 1948 г. и 1880 г. На рисунке 1 приведен график изменения сейсмической энергии  $E$ , выделенной землетрясениями с магнитудой  $M \geq 7.5$  с 1860 года по 2016 год [6].

На нем видно, что в активизации сейсмичности наблюдались три периода: первый с середины 80-х годов XIX века до 30-х годов XX века; второй с 1943 года до 1972 года; третий период, начатый в 1992 году, продолжается ныне. Максимальная сейсмическая энергия  $E$  выделена на втором этапе активизации сейсмичности (табл. 2). На фоне 68-летних периодов в изменении приливов выделяется 18.6-летний ритм. В XIX и XX веках на территории Тянь-Шаня сильные и разрушительные (Верненское 1887 г.; магнитуда 7.3, Чиликское 1889 г.; магнитуда 8.3, Кульджинское 1921 г.; магнитуда 6.7, Джунгарское 1958 г.; магнитуда

6.4, Жаланаш-Тюпское 1978 г.; магнитуда 6.8) землетрясения произошли в период смены направления от приближения Луны к Земле на удаление от нее (рис. 2).

В период смены направления Луны от удаления на приближение к Земле произошли Кеминское (1911 г.; магнитуда 8.2), Кокшаальское (1915 г.; магнитуда 6.7), Сарыкамышское (1970 г.; магнитуда 6.8), Суусамырское (1992 г.; магнитуда 7.3) землетрясения [5].

Таким образом, установленные законы о том, что вероятность возникновения землетрясений повышается при увеличении силового воздействия со стороны Луны на Землю, подтверждаются новыми экспериментальными данными о сильных землетрясениях.

В [7] показано, что тензочувствительность структурных неоднородностей тектоносферы на воздействие источников энергии космогенного происхождения зависит от их энергонасыщенности. На территории Северного Тянь-Шаня на лунные приливы откликаются как кора, так и мантия (рис. 2-5).

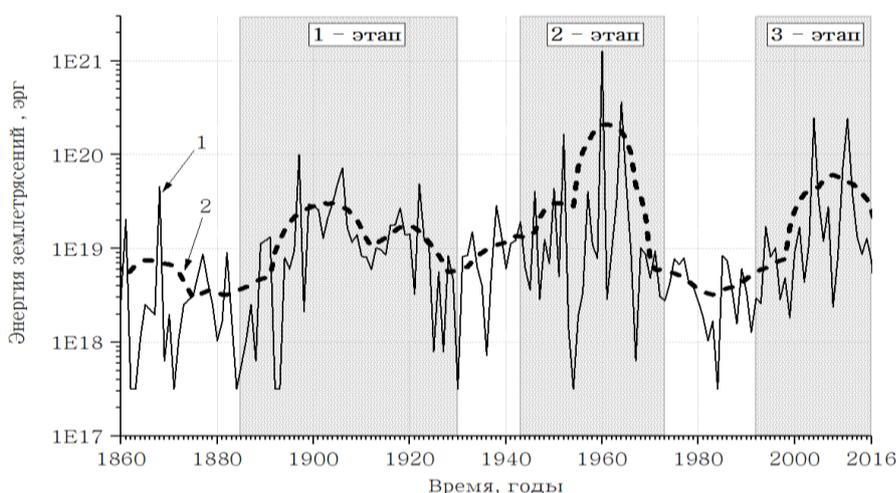


Рис. 1. Изменение сейсмической энергии, выделенной землетрясениями с магнитудой  $M > 7.5$  из недр Земли: 1 — среднегодовые, 2 — осредненные с интервалом 10 точек

**Таблица 2. Данные о числе (N) землетрясений и выделившейся сейсмической энергии (E)**

Период активизации сейсмичности	Продолжительность, лет	Число N	Сейсмическая энергия E, эрг	N в год	E в год
Первый этап 1885 – 1930 гг.	45	280	$7.03E+20$	6.22	$1.56E+19$
Второй этап 1943 – 1972 гг.	29	165	$2.13E+21$	5.69	$7.34E+19$
Третий этап 1992 – 2017 гг.	25	136	$8.15E+20$	5.44	$3.26E+19$

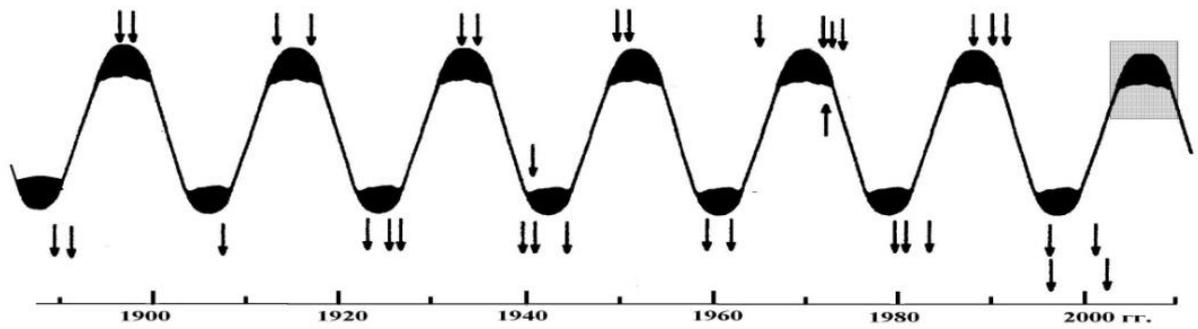


Рис. 2. Вариации склонения Луны и сейсмичности земной коры Тянь-Шаня

Многолетние гармонические составляющие деформаций проявлены в масштабах земной коры. Наибольший отклик параметров сейсмического и флюидного режимов, геофизических характеристик при воздействии на Землю внешних сил наблюдается в периоды, приходящиеся главным образом на их 2-4; 11; 18-22; 33 и 62-летние циклы.

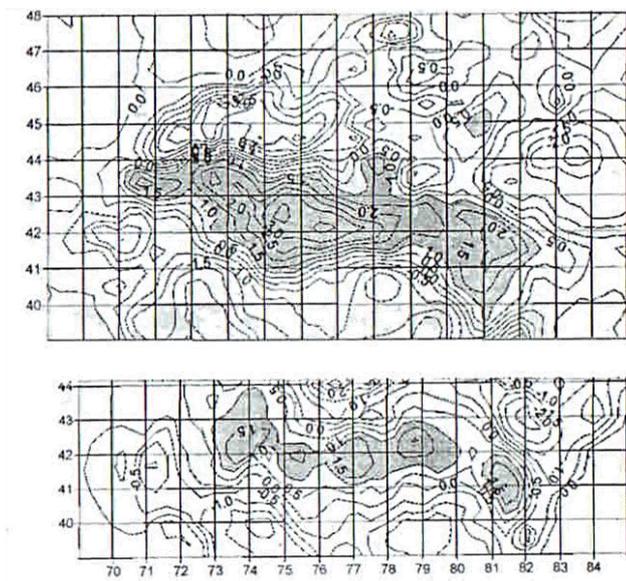


Рис. 3. Динамика параметра сейсмического режима на территории Северного Тянь-Шаня в 1963г. (верхняя часть) и 1983г. (нижняя часть) [Курскеев, 2004]

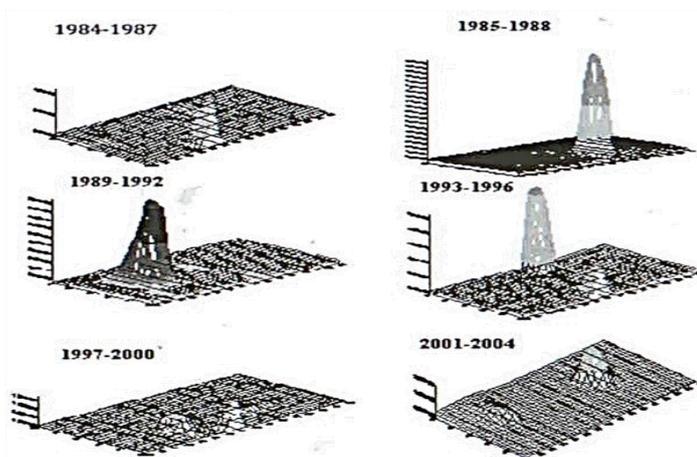


Рис. 4. Распределение суммарной энергии  $E$  (ось ординат), выделившейся при землетрясениях с  $K \geq 9,6$  на территории  $40^\circ-45^\circ$  с.ш.,  $70^\circ-85^\circ$  в.д. [Курскеев, 2004]

Исследование тонкой структуры приливообразующих сил и параметров сейсмического режима показывает, что в их динамике доминируют схожие ритмы (год): 1; 2; 4 и 18.6. Энергия, содержащаяся в приливообразующих волнах, поступает в земную кору через земную поверхность. Бегущие по поверхности твердые волны с амплитудой  $W_0$  вызывают деформацию

$$W_{(x,y,t)} = W_0 e^{-\gamma s/\gamma} \sin \frac{2\pi}{\lambda} (x - ct), \quad (1)$$

где  $c$  — фазовая скорость, с которой волна длиной  $\lambda$  распространяется;  $t$  — время. Твердая деформационная волна по мере распространения вглубь затухает по закону:

$$H = \lambda_i (GT_i/2\pi\eta_i)^{1/2}, \quad (2)$$

где  $T$  — период волны;  $G$  и  $\eta$  — модуль сдвига и вязкость среды.

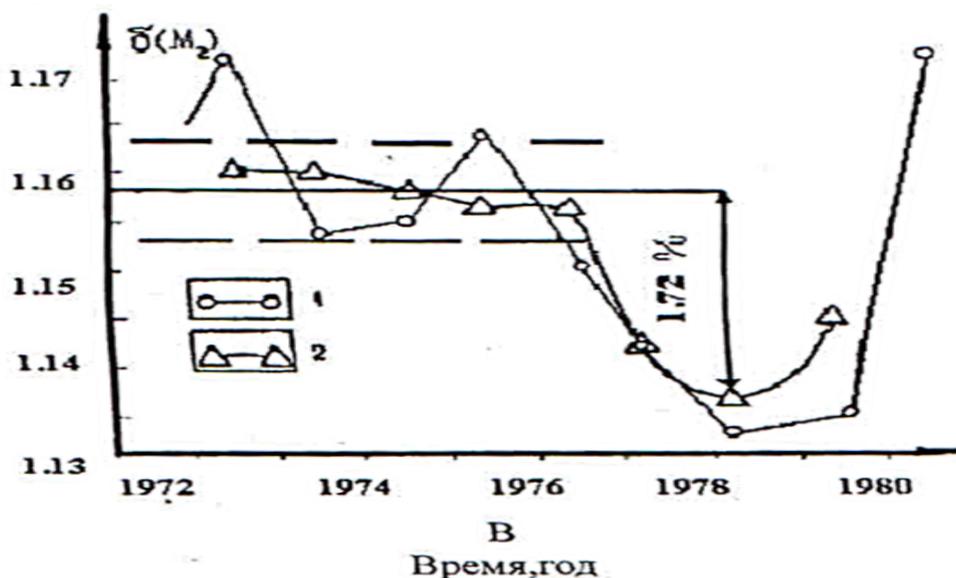


Рис. 5. Вариации гравиметрического фактора на станции Алма-Ата (Талгар): 1 — график среднегодовых значений фактора  $\delta(M_2)$ ; 2 — график средних трехлетних значений фактора  $\delta(M_2)$  [Курскеев, 1990]

### Выводы.

1. Глубины затухания волн колеблются от единиц км до 400 км. Мощность приливного воздействия Луны составляет около  $10^{19}$  Эрг/с.
2. Ее достаточно для перемещения структурных неоднородностей земной коры, т.е. для развития процессов разрушения пород и, как следствие, формирования очаговых зон землетрясений.

### Литература

1. Шевченко В.В. Луна и ее наблюдение. М., «Наука», 1983, 192 с.
2. Perrey A. Comptes rendus des seances de l'Academie des Sciences. T81. 1875
3. Курскеев А.К., Демченко Б.И. «О возможности объединения законов Перре» // Известия НАН РК. Серия геологическая №6, 2010, с. 47-49
4. Бронштен В.А. Как движется Луна? М., «Наука», 1990, 208 с.
5. <https://ru.wikipedia.org>
6. Каталог NGDC/WDS, NOAA
7. Курскеев А.К. Землетрясения и сейсмическая опасность Казахстана. Алматы. «Эверо», 2004. 504 с.

• • •

**ВЫЯВЛЕНИЕ РОЕВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В СЕЙСМОАКТИВНОМ РЕГИОНЕ  
СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ**  
*Литовченко И.Н., Лютикова В.С.*

**DETECTION OF SWARM EARTHQUAKES IN THE SEISMOACTIVE REGION  
OF THE NORTHERN TIEN SHAN AND ADJUTING TERRITORIES**  
*Litovchenko I.N., Lyutikova V.S.*

**Аннотация.** В работе излагаются особенности выявления роев землетрясений в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий, алгоритм их распознавания и результаты. «Рой землетрясений» выражается в увеличении числа слабых толчков в некоторой локальной зоне земной коры с последующим постепенным его уменьшением. Пространственные размеры «роев», примерно, равны размерам эпицентральных зон сильных землетрясений. На современных данных о сейсмичности региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий, исследуются особенности распределения роев землетрясений за период 2018-2019 гг. В результате получены места локализации роев землетрясений. Результат, демонстрирующий развитие сейсмического процесса во времени может быть использован для исследования сейсмичности и прогноза будущих сильных землетрясений.

**Ключевые слова:** сейсмичность региона, рой землетрясений, эпицентральные зоны, энергетический класс, слабые толчки, прогноз, алгоритм распознавания.

**Annotation.** The paper outlines the features of the identification of earthquake swarms in the seismically active region of the Northern Tien Shan and adjacent territories, their recognition algorithm and results. An “earthquake swarm” is expressed in an increase in the number of weak shocks in a certain local zone of the earth’s crust, followed by its gradual decrease. The spatial dimensions of the “swarms” are approximately equal to the sizes of the epicentral zones of strong earthquakes. Based on modern data on the seismicity of the Northern Tien Shan region and adjacent territories, the features of the distribution of earthquake swarms for the period 2018-2019 are investigated. As a result, places of localization of earthquake swarms were obtained. The result demonstrating the development of the seismic process over time can be used to study seismicity and predict future strong earthquakes.

**Keywords:** seismicity of the region, swarm of earthquakes, epicentral zones, energy class, weak shocks, forecast, recognition algorithm.

**Введение.** В работе излагаются основные теоретические и практические результаты применения алгоритма выявления роев землетрясений, сделана попытка оценить перспективы развития и применения его при решении практических задач. Сейсмичность региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий исследовалась авторами за последние годы на предмет выявления роев землетрясений. Ранее, в работах авторов [1,2,3] описывался процесс распознавания роев землетрясений. Было подробно представлено возникновение и распределение таких последовательностей в разных сейсмоактивных регионах. На современных данных о сейсмичности региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий, представляется аналогичный подход для выявления роев. Приведены результаты выявленных роев землетрясений за период 2018-2019гг. Отметим, что «рой землетрясений» выражается в увеличении числа слабых толчков в некоторой локальной зоне земной коры с последующим постепенным его уменьшением. Пространственные размеры «роев», примерно, равны размерам эпицентральных зон сильных землетрясений. «Рои» наряду с «форшоками» образуют прогностические последовательности сейсмических событий, которые

можно использовать для прогноза сильных землетрясений, отсюда возникает необходимость их своевременного распознавания. Для решения этой задачи предлагалось использовать [1] метод графической кластеризации временных последовательностей событий (МГКл). Авторами исследований [3, 4] отмечается, что «рои землетрясений» - это особый вид проявления сейсмической активности, когда за достаточно короткое время, в течение нескольких суток от 1 до 5-15 суток (редко более длительное время), в одном и том же месте, на ограниченной площади, происходит большое количество землетрясений, как правило, малых энергетических классов, характерных для фоновой сейсмичности региона. Но, в отличие от «афтершоковой последовательности», «роевые последовательности землетрясений» [4] не всегда имеют главное событие старшего энергетического класса, а также характерного затухания энергии событий во времени. Физическая природа возникновения «роев» не ясна. Они возникают, как в зонах континентальной сейсмичности (например, на Кавказе), так и в зонах субдукции (Курило-Камчатская зона) [4]. Иногда в тех областях, где в прошлые годы имели место сильные землетрясения, обнаруживаются «рои», а иногда нет [5].

**Методом выделения роев землетрясений** выступал следующий теоретический подход. Пусть за время  $T$  на ограниченной территории происходит  $N$  землетрясений  $a(11), a(12), \dots, a(NN)$ . Каждое из этих событий характеризуется набором параметров, часть из которых может повторяться (координаты, магнитуда, и т.п.), другие же не повторяются никогда. Всегда можно составить матрицу  $R$  состояний, симметричную с нулевой диагональю (имея в виду, что в общем случае матрица  $R$  может быть многомерной) [1]. По общепринятым методам кластерного анализа, должны проанализировать соответствие элементов строк в матрице заданным правилам. Например, считаем, что если существует пространственная взаимосвязь и взаимообусловленность событий, то она должна выражаться через "расстояния" (евклидовы или другие) между событиями в  $n$ -мерном пространстве. Если известны географические координаты события, то в качестве меры взаимосвязи выбираем геометрическое расстояние между эпицентрами землетрясений. Считая, что наиболее взаимосвязанными являются те события, для которых межэпицентральные расстояния минимальны. После определения соответствия заданному правилу элементов матрицы в заданном пространстве параметров (например, расстояние между событиями) наносим их на график и соединяем между собой линиями в последовательности, следующей из этой матрицы. При наличии взаимосвязи и взаимообусловленности событий в матрице на графике образуются связанные древовидные структуры. Узлы каждого из таких деревьев, образуют кластеры, подобные рассчитанным другими методами кластерного анализа. МГКл [1] не требует дополнительных математических операций для кластеризации, и поэтому выполняется значительно быстрее, чем другие методы кластерного анализа. Вообще время проведения расчетов для МГКл пропорционально числу событий в выборке образующей матрицу. Очевидным преимуществом МГКл является то, что в анализируемом пространстве состояний допустимы пересекающиеся подмножества. Такие ситуации могут возникнуть при анализе временных последовательностей событий, когда существуют кластеры, время жизни которых меньше интервала всей выборки. Использовали МГКл для выделения «роев» в Каталоге землетрясений [6] на Северном Тянь-Шане и прилегающих территориях за 2018-2019гг., применяемом в Институте сейсмологии РК. Предварительно в каталоге [6] были выделены афтершоки.

В дальнейших расчетах эти события не принимались во внимание. Представительность каталога [6] не равномерна во времени и в пространстве.

Для территории с координатами 39-47°N и 70°-85°E в 2018-2019 гг. представительными являются землетрясения с  $K \geq 7$  ( $M=1.7$ ). В дальнейших расчетах не выходим за пределы этого района. Выбор территории обусловлен тем, что здесь раньше происходили сильные землетрясения с  $M \geq 7-8$  (Верненское 1887 г.,  $M=7.5$ , Чиликское 1889г.,  $M=8.4$ , Кеминское 1911 г.,  $M=8.3$ ). В анализируемом каталоге [6] более 80 землетрясений с  $M \geq 5$ , в т.ч: Сарыкамышское 1970 г.,  $M=6.8$ , Жаланаштюпское 1978 г.,  $M=6.8$ , Байсорунское 1990 г.,  $M=6.3$ . По долгосрочному прогнозу ожидается период активизации сейсмической активности, и могут произойти сильные землетрясения.

**Особенности алгоритма распознавания.** Во-первых, определили численные характеристики «роев», как последовательности землетрясений пригодные для их описания и распознавания роев в каталоге. Это представляется важным, поскольку, не были известны объективные критерии для распознавания и выделения «роев». В общих чертах, процесс образования «роя» можно идентифицировать с процедурой пространственного группирования сейсмических событий. Здесь за радиус вероятного группирования принимали 15 км. При этом количество группирующихся землетрясений составило 10% от размера выборки. Исследовался каталог [6] на способность образовывать компактные группы событий вводя ограничивающее правило при расчете матрицы. Устойчивые кластеры-группы размером не более 20'-25' угловой меры (т.е. размеров очаговых зон землетрясений с  $M=6-7$  на изучаемой территории) образуются, если расстояние между событиями  $L \leq 10'$ , т.е. примерно такие же, как у [1, 3, 4, 5].

Следующая характеристика «роев землетрясений» связана с числом землетрясений в «рое» (или группе). Легко показать, что вероятность попадания трех случайных событий в площадку радиусом равным  $L=10'$  столь мала, что ей можно пренебречь. Поэтому принимали за «рой» группу, где число землетрясений  $N \geq 3$ , без ограничения  $N$  по максимальной величине. Результаты расчетов по МГКл [1] с учетом  $L$  и  $N$  показали, что «рои» действительно группируются вблизи зон, в которых на изучаемой территории происходили землетрясения с  $M \geq 5.5$ , а их распределение в пространстве имеет большую дисперсию, что указывает на необходимость введения еще одной характеристики для более строгого описания роя. «Рои» могут быть и короткоживущие (минуты, часы), так и долгоживущие (месяцы и годы). Поэтому их нельзя характеризовать ни числом событий  $N$ , ни временем жизни «роя»  $T_l$  («life swarm»). Более объективной характеристикой является время между землетрясениями в «рое»  $T_m$ .

**Результаты.** По представленным теоретическим обоснованиям, методам возникновения и распределения «роевых последовательностей землетрясений», а также практическому алгоритму их распознавания [1,3,5] на рисунке приведены результаты работы программы распознавания «роев». Карта-схема (см. рис.1) выявленных роев землетрясений региона исследования, пространственно-временное распределение сейсмических событий «роев»: 2018 – синим цветом, 2019 – красным цветом. В результате исследования параметров «роевых последовательностей землетрясений», получили три численные характеристики, по которым можно объективно распознавать «рои» в каталоге землетрясений на Северном Тянь-Шане и прилегающих территориях. К ним относятся: число землетрясений в «рое»  $N \geq 3$ ; пространственное расстояние между соседними событиями, образующими «рой»  $L \leq 10'$  в угловой мере; время между событиями в «рое»  $0 < T_m \leq 15-26$  дней. Используя эти ограничивающие численные значения, провели расчеты МГКл [1, 3, 5] и составили каталог «роев»

для территории Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий за период с 2018 и 2019 гг.

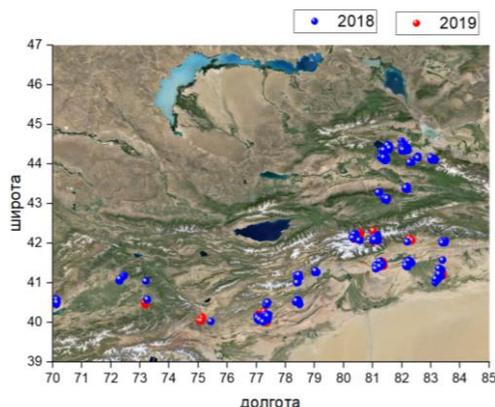


Рис. 1. Распределение роев землетрясений сейсмоактивного региона исследования 39°-47°N, 70°- 85°E (синим цветом – 2018 г., красным цветом – 2019 г.)

### Выводы

1. Выявленные «рои» землетрясений в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий, предположительно возникают в эпицентральной зоне будущего сильного землетрясения за 10-15 лет до толчка и импульсивно появляются, и исчезают.

2. Эта особенность может служить для создания самостоятельной численной основы для прогноза землетрясений на Северном Тянь-Шане и прилегающих территориях. Каталог «роев землетрясений» может служить основой для поиска «форшоков» и прогноза сильных землетрясений.

3. Результат, демонстрирующий развитие сейсмического процесса во времени, может быть использован для исследования сейсмичности и прогноза будущих сильных землетрясений.

Авторы благодарят научного руководителя академика НАН РК Курскеева А.К. за активное участие в проводимых исследованиях, критические замечания и рекомендации, а также сотрудников СОМЭ, за предоставление каталога землетрясений.

### Список литературы

1. Казаков В.В., Литовченко И.Н., Паршуков М.Ю. Рои землетрясений на Северном Тянь-Шане // Прогноз землетрясений и глубинная геодинамика. Материалы международного симпозиума. Алматы, 1997. - С.145-151.
2. Курскеев А.К. Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана. Алматы, 2004 – 504 с.
3. Литовченко И.Н., Лютикова В.С. Универсальный алгоритм распознавания образов роевых последовательностей землетрясений в современной сейсмичности региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий//XX Всероссийская конференция с международным участием «Глубинное строение, минерагения, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов» - Воронеж, 2016. С. 236-240.
4. Славина Л.Б., Левина В.И., Бабанова Д.Н. Особенности возникновения и распределения роевых последовательностей землетрясений в сейсмоактивной зоне в акватории Тихоокеанского побережья Камчатки // <http://www.emsd.ru/konf091011/pdf/largesteqs>
5. Лютикова В.С. Рои землетрясений как отклик энергонасыщенных структур земной коры на воздействие астрофизических факторов//Всемирный Конгресс инженеров и ученых «Энергия будущего: инновационные сценарии и методы их реализации», WSEC-2017- Астана, Казахстан, -Т.4.- Алматы, 2017.- С.328-331.
6. Каталог землетрясений /Сейсмологическая Опытно-Методическая Экспедиция (СОМЭ) 1960-2019 г.г.

**АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНЫХ РАЙОНОВ  
ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ (ПАМИРСКИЙ ОПЫТ)**  
*Минаев В., Оймухаммадзода И., Гадоев М.*

**ACTUAL PROBLEMS FOR THE CENTRAL ASIAN MOUNTAIN REGIONS STUDY  
(PAMIR'S EXPERIENCE)**

*Minaev Vladislav, Oimuhammadzoda Ilhomjon, Gadoev Mustafa*

**Аннотация.** Опыт многолетних работ на Памире (включая последние международные проекты по изучению его глубинного строения вместе с прилегающими территориями Гиндукуша, Южного Тяньшаня, Западного Тибета) показывает необходимость комплексного исследования горных областей Центральной Азии. Работы опирались на новые технологии и накопленное за прошлые годы знание проблем геологии Памира. Тема повышенной мощности земной коры Восточного Памира, конфигурации коллизионной зоны были на первом плане. Но затем выявились новые важные детали горообразовательного процесса, потребовавшие расширения программ и состава методик и участников работ. Результаты помогут оценить особенности сейсмичности, тенденцию изменения климата, перспективы развития строительной и горнорудной промышленности.

**Ключевые слова:** Памир, Тяньшань, Гиндукуш, Тибет, сейсмический и магнитотеллурический профиль, глубинное строение, Receiver Function, внутриконтинентальная зона коллизии, субдукция, слэб, Земная Кора и Мантия, прогноз землетрясений, мониторинг, оценка рисков, изменение климата, минеральные ресурсы.

**Abstract.** Experience from long works in Pamir (including last international projects to deep structure study together with adjacent Hindukush, Southern Tianshan, Western Tibet territories) shows necessity of complex investigation in mountain regions of Central Asia. The work was based on new technologies and the knowledge accumulated over the past years on the problems of the Pamir geology. The theme of the increased thickness of the crust of the Eastern Pamirs, the configuration of the collision zone were in the foreground. But then new important details of the mountain formation process emerged that required the expansion of programs and the composition of the methods and participants in the work. The results will help to value character of seismicity, climate evolution and perspectives for building and mining industry development – i.e. it will provide not only scientific but economy effect also.

**Key words:** Pamir, Tianshan, Hindukush, Tibet, seismic and magnet-telluric profile, deep structure, Receiver Function, intra-continental zone of collision, subduction, slab, Earth Crust and Mantle, earthquake prognosis, monitoring, risk assessment, climate change and mineral resources.

**Введение.** Горные районы ЦА являются важным объектом изучения Земли как на поверхности, так и дистанционными методами (включая сейсмологию и глубинную геофизику). Здесь можно решать множество задач, ключевых как для фундаментальной и прикладной науки, так и разных отраслей в народном хозяйстве. При тщательном анализе возможно определение трендов развития в социальной сфере с влиянием изменений климата, включая проблемы водоснабжения, экономические взаимоотношения горных и равнинных людских агломераций, и т.д. Актуальность растет в связи с интенсивным освоением горных территорий с ростом популяций и при возросших возможностях преобразования природы с помощью современных технологий и технических средств. Возникает потребность мониторинга и природных явлений, и влияния деятельности людей в локальном и глобальном масштабах.

**Методика исследований.** В комплексе методических приемов, помимо традиционного геолого-петрологического метода изучения вещества [18,19] и статистического структурного анализа, большую роль играли сейсмологические методы, которые себя оправдали в TIRAGE-2008: сперва интерпретация данных удаленных наблюдений вдоль меридиональных профилей в Гиндукуш-Памир-Каракорумском регионе [20], а затем прямых наблюдений на территории Южного Тянь-Шаня и Памира – профиль Ош (Киргизстан) – Каракуль – Мургаб – Зоркуль (ГБАО Республики Таджикистан), 40 широкополосных автоматических сейсмостанций в 2008 году из фондов Потсдамского центра наук о Земле (GFZ Potsdam) при участии научных центров РАН (Пржевальск) и Немецко-Киргизского центра наук о Земле (Бишкек). В 2009 станции переставлены для покрытия территории Памира по сети 40 км между точками наблюдений [21].

**Результаты исследований.** Выявление факторов риска и угроз требует серьезного подхода к получению и интерпретации наблюдений. Это обязывает научное сообщество к созданию комплексных методик изучения горных районов, тем более, что предпосылки и задел для этого уже имеются, судя по размаху работ таких международных центров как ЦАИИЗ, Научный центр РАН в Киргизии, ИГССС АН РТ в Таджикистане, ИТП в Пекине и других.

Важным обстоятельством является поддержка со стороны ведущих научных центров по изучению "горячих" зон Земли: Helmholtz Center (GFZ Potsdam), Горная академия Фрейберг (Humboldt Center), Университет Южной Калифорнии (Санта-Барбара) и других, уже много лет ведущих работы в Центральной Азии.

Наш опыт долгосрочной серии совместных международных проектов по изучению Памира с 1997 года по настоящее время может быть показателем в этом отношении. В историческом плане известно, что Памир и Припамирье издавна были значимыми территориями как источник драгоценных металлов и камней и один из коридоров Великого Шелкового Пути. В XIX веке он приобрел стратегическое военно-политическое значение, что стало началом его планомерного исследования географами и геологами России, Европы и Англии.

Из первых публикаций – индолога И.П. Минаева [1] и геологов Д.Л. Иванова [2], И.В. Мушкетова [3]. Последний по работам 1874 -1980 годов вместе с профессором Г.Д.Романовским составил Геологическую карту Туркестанского края масштаба 1 : 1 260 000 (30 верст в дюйме), начал систематику сейсмических явлений (каталог землетрясений России) и выпустил книгу «Физическая геология» [4], что обозначило комплексную методическую направленность современных проектов. Работы 1900-х довершили начатое [5,6,7].

Таджикско-Памирская экспедиция Академии Наук СССР (1932-1936) дала ход геологической секции Таджикостанской базы АН СССР, а в 1938 г. Было создано Таджикское государственное геологическое управление, действующее под изменяемыми названиями до сих пор. Это обеспечило прочную базу систематическому изучению Памира и появились работы фундаментального характера с данными по сейсмоструктурной геологии [8,9,10,11].

После Великой Отечественной войны во ВСЕГЕИ было возобновлено начатое в конце 30-х годов составление Государственной геологической карты СССР масштаба 1:1000000 отдельными листами с объяснительными записками (со сведениями по геологии и полезным ископаемым). В 1953 году создана Памирская геологоразведочная экспедиция (ПГРЭ) Таджикского геологического управления, начавшая полистную геологическую съемку с поисками масштаба 1:200.000, на перспективных территориях 1:50 000 и более детальные.

Кураторами съемок были сотрудники ВСЕГЕИ, которые в 1964-1969 провели уникальные комплексные исследования глубинного строения земной коры Тянь-Шаня и Памира, впервые при этом выясняя связи элементов глубинного

строения с конкретными геологическими структурами, наблюдаемыми на земной поверхности. Руководителем проекта был Ю.И.Сытин, полевые работы возглавил Н.Г.Власов. Затем был проведен международный Памиро-Гималайский проект по профилю Токтогул-Зоркуль-Нангапарбат-Сринагар [12,13,14].

Сумма накопленных геолого-геофизических данных позволила создать в 1984 г. геолкарту масштаба 1:500.000, изданную в 1989, а колонки стратифицированных отложений к ней в 1990 году [15].

Это дало основу начать новый цикл работ после периода нестабильности 1990-х. Выйдя из состава СССР, Республика Таджикистан начала налаживать связи с международными организациями. Серия договоров о сотрудничестве за период 1997-2004 годов и ряд совместных публикаций [16,17] привлекла к нашему региону внимание ведущих научных центров, упомянутых выше во введении.

Результатом стал геолого-геофизический проект TIPAGE-2008 (Tianshan-Pamir Geodynamic Program совместно с GFZ Potsdam, TUBAF Фрейберг), определивший дальнейшее развитие проектов UPTEC (2009-2013, Uplift of Pamir-Tianshan – Tectonic & Climatic implications с ITP CAS), TIPTIMON, и прочие.

Работы опирались на новые технологии и накопленное за прошлые годы знание проблем геологии Памира. Тема повышенной мощности земной коры Восточного Памира, конфигурации коллизионной зоны были на первом плане. Но затем выявились новые важные детали горообразовательного процесса, потребовавшие расширения программ и состава методик и участников работ.

Памир-Гиндукуш – одно из редких мест Земли с сильными землетрясениями средних глубин (100-300 км) во внутри-континентальной позиции. 15 землетрясений  $M > 7$  за последние 100 лет также свидетельствуют об интенсивных напряжениях в мантии; за 2008-2010 сделаны наблюдения не только «рядовых» толчков, но и сильных землетрясений в коре (Ванч, Памир) и мантии (Нура, Киргизстан,  $M_w = 6.6$ ,  $H = 138$  км, 05.10.2008).

В последующие годы привлекались дистанционные методы для изучения современных тектонических движений по смещению крупных водотоков, высокоточные GPS измерения смещений блоков и крупных террейнов, а также седиментология с датированием молодых рыхлых отложений для корреляции эволюции Памир-Тибетского поднятия с историей осадков в межгорных впадинах (в нашем секторе MZ-CZ Таджикская Депрессия). В сравнении с картировочными методами прошлых веков (глубины  $n \times 1$  км), приток информации ускорился на порядки, причем до глубин  $n \times 100$  км.

### **Выводы.**

1. Результаты работ имеют большое научное и практическое значение. Кластеры очагов подтвердили «слэб-тектонику», предполагаемую по геологическим данным. Конфигурация полей землетрясений Памир-Гиндукушского блока в плане образует S-образный пояс, а в разрезах – узкие дивергентные слэб-пластины: под Гиндукушем это крутое падение к северу, на Памире – к югу. Отрыв слэба в Гиндукуше (~ 45 млн. лет) виден по нарушению между высокоскоростными аномалиями в мантии. Работа с Receiver Function определила границы слоенности мантии до глубины 800 км.

2. Магнито-теллурическое зондирование по профилю подтвердило сейсмические данные и дополнительные детали тектоники. Кору-мантийные нарушения коррелируются с крупными скоплениями полезных ископаемых, известных в Гиндукуш-Памирском горном узле.

3. Результаты доложены на осенних конференциях AGU, представлены в Европейском (2011) и Международном (2012) конгрессе и регулярно публикуются

в журналах *Tectonics*, *Geology*, *Earth and Planetary Science Letters*, *Journal of Geophysical Research*, *Geophysical Journal International*.

4. Можно заключить, что комплексный подход к изучению горных областей Центральной Азии результативен, сотрудничество надо продолжать.

#### Литература

1. Минаев И.П. Сведения о странах по верховьям Аму-Дарьи. СПб, 1879. 270 стр. с приложением карты Памира и сопредельных стран.
2. Иванов Д. Л. Краткий отчет о геологических исследованиях на Памире. Зап. СПб минералог. о-ва. Вторая серия, ч. 22. С. 255- 288. СПб, 1886.
3. Мушкетов И.В. Собрание сочинений. Выпуск 1. СПб: Императорская Академия Наук, 1910. Вып.2. СПб: Типография М.М. Стасюлевича, 1912.
4. Мушкетов И.В. Физическая геология. 2 издание в 2-х т. СПб: Институт инженеров путей сообщения императора Александра I, 1899-1906.
5. Наливкин Д.В. Очерк геологии Туркестана. Туркчеч: Ташкент – Москва, 1926. 184 стр.
6. Марковский А.П. О закономерности распределения тектонических элементов Памиро - Алая. Труды ТКЭ, вып.2. Л., 1934. С.43-62. 24-30.
7. Николаев В.А. Петрология Памира. Сб. Трудов ТКЭ, 1932. Л., 1933.
8. Губин И.Е. Геологическая граница между Памиром и Алаем. - М. -Л., Госгеолиздат, 1940, 47 с.
9. Губин И.Е. Закономерности сейсмических проявлений на территории Таджикистана. М.: Изд. АН СССР, 1960, 464 стр.
10. Петрушевский Б.А. Индо-Памирская глубинная зона и Западно-Деканское землетрясение. Геотектоника, 1969, № 2, с. 22-37.
11. Булин Н.К. О мощности Земной Коры на Памире. ДАН СССР, 1972, том 204, № 1, с. 167-170.
12. Белоусов В.В. Памир-Гималаи, глубинное строение Земной Коры. Посвящается 100-летию международных геофизических исследований (рез-ты исследований по междунаро-дн. пр-там). М.: Наука, 1982, 174 с.
13. Белоусов В.В., Вольвовский Б.С. и др. Итоги международного Памир-Гималайского проекта и направление будущих работ. В кн.: Земная кора и Верхняя Мантия Памира, Гималаев и Южного Тяньшаня. М.: Наука, 1984, с. 6-10.
14. Belousov V.V., Belaevsky N.A., Borisov A.A., Volvovsky B.S., Volvovksy I.S., Resvoy D.P., Tal-Virksy B.V., Khamrabaev I.Kh., Kaila K.L., Narain H., Marussi A. & Finetti J. Structure of the lithosphere along the deep seismic sounding profile: Tien Shan-Pamirs-Karakorum-Himalayas. *Tectonophysics*, 70, 193-221, 1980.
15. Геологическая карта Таджикистана и прилегающих территорий. Ред. Н.Г. Власов, Ю.А. Дьяков, Э.С. Чернер. Л.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 1989.
16. Ducea, M. N., Lutkov, V., Minaev, V. et al. Building the Pamirs: The view from the under-side, *Geology*, 31, p. 849–852, 2003.
17. Schwab, M., Ratschbacher, L., Siebel, W., McWilliams, M., Minaev, V., Lutkov, V., Chen, F., Stanek, K., Nelson, B., Frisch, W., Wooden, J.L., 2004. Assembly of the Pamirs: age and origin of magmatic belts from the southern Tien Shan to the southern Pamirs and their relation to Tibet. *Tectonics* 23 (4), TC4002. <http://dx.doi.org/10.1029/2003TC001583>.
18. Дмитриев Э.А., Минаев В.Е. Схема магматизма восточной части зоны Центрального Памира. Доклады АН ТаджССР, 1972, т.15, № 2, с.47-50.
19. Hacker B.R., Luffi P., Lutkov V.S., Minaev V.E. et al. Near-Ultrahigh Pressure Processing of Continental Crust: Miocene Crustal Xenoliths from the Pamir. *Journal of Petrology*, 2005, 46: 1661-1687.
20. Kumar P., Yuan X., Kind R. and James Ni. Imaging the colliding Indian and Asian lithospheric plates beneath Tibet. *Journ. of Geophysical Research*, v. 111, B06308, doi:10.1029/2005JB003930, 2006.
21. Schurr B., X.Yuan, J. Mechie, C. Sippl, F. Schneider, V. Minaev and U. Abdybachaev. A temporary seismological network across the Pamir and Tien Shan mountain ranges. AGU2009-poster-T43C-2102, San Francisco, 2009.



# ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ОСВОЕНИИ ТЕРРИТОРИЙ В УЗБЕКИСТАНЕ

*Минченко В.Д.*

## REMOTE KNOWLEDGE HAZARD MONITORING WHEN DEVELOPING TERRITORIES IN UZBEKISTAN

*Minchenko V.D.*

**Аннотация.** Интенсивное освоение территорий (зачастую без надлежащей оценки реакции земли) сопровождается негативными геологическими процессами, осложняющими условия жизнедеятельности человека. При исследованиях на значительных пространствах (площадях) традиционными методами возникают трудности с оценками причин, масштабов возникших рисков и обоснованием мер по обеспечению безопасности населения и объектов. В настоящее время в связи с доступностью оптических космосъёмов высокого разрешения, позволяющих создавать космопланы в масштабе 1:2000-1:5000, расширились возможности оценки масштабов освоения новых территорий, состояния социальных и экономических объектов, инженерных сооружений, выявления мест развития оползней и других ЭГП и оценить их опасность. Развитие дистанционных технологий обеспечивает получение визуальной объективной информации об исследуемой территории и расположенных на ней объектах в реальном масштабе времени с геопространственной привязкой.

**Ключевые слова:** космические карты, линейные структуры, риск, страхование, стихийные бедствия, деформации, разломы.

**Abstract:** The possibilities of high-resolution optical space surveys in monitoring the development of territories and assessing landslide hazards are evaluated. The necessity of drawing up space maps with parameterization of landslide areas, an objective assessment of the scale of the process and the consequences of its implementation. It is recommended when justifying the places of application of linear structures, construction of economic and social facilities. Large-scale space schemes should become a cartographic basis for assessing the risks of construction of facilities for subsequent insurance against natural hazards. It is proposed to introduce such a practice of monitoring the development and consequences of the implementation of natural hazards in the activities of specialized engineering - geological organizations.

**Keywords:** space maps, linear structures, risk, insurances, natural hazards, deformations, faults.

**Введение.** Использование данных космосъёмов для контроля площадной оползневой ситуации осуществляется в нескольких направлениях: определение границ, форм и параметров оползней для задач их учета; определение изменений в рельефе земной поверхности как потенциальных площадей развития скрытых оползневых деформаций (трещины); получение объективных данных о характере и масштабах разрушений, вызванных оползнем [1, 2].

**Методика исследований.** Дополнительно применение данных ДЗЗ позволяет уточнить текущее состояние развития инфраструктуры территории, степень и характер её освоенности, изменения в структуре хозяйственных объектов и инженерных сооружений, появление новых площадей жилой застройки территории. Подобная информация, поможет более достоверно определить масштабы оползневой угрозы и возможные последствия при её реализации.



повторные смещения при особенно опасных низкочастотных колебаниях от глубоких землетрясений Гиндукушской зоны. Изменение состояния местности можно проиллюстрировать на примере строительства **железной дороги Ангрэн-Пап** в Ташкентской области на участке правобережья Ахангаранского водохранилища. До строительства железной дороги основной грузопоток приходился на автодорогу (рис. 2, КС 22.04. 2013 г). В 2014 г. начались планировочные работы под железную дорогу (рис. 2, КС 18.08. 2014 г).

В 2016 г. на рассматриваемом отрезке дорога была построена и на космоснимке (рис, КС 08,06,2016 г) выражены основные инженерные сооружения: спланированные площадки под рельсовый путь, дамбы с водопропусками на водотоках правобережья водохранилища, железнодорожный мост.

Железная дорога проходит нередко на расстоянии 30-40 м по берегу реки и на отдельных участках ей угрожают оползни. Береговые насыпи подтапливаются и их состояние зависит от колебаний уровня режима водохранилища.



Рис. 2. Изменения на местности по космосъёмкам (ж.д Ангрэн-Пап)

**Развитие оползней при строительстве и эксплуатации железной дороги.** 30 апреля 2019 г на 103-104 км железной дороги “Ташгузар-Бай-сун-Кумкурган” в районе **с. Акрабат** на левом борту руч. Акрабатсай образовался оползень длиной 480 м, шириной 400 м, мощностью более 10 м, объемом до 2,0 млн. м<sup>3</sup>. (рис.3).

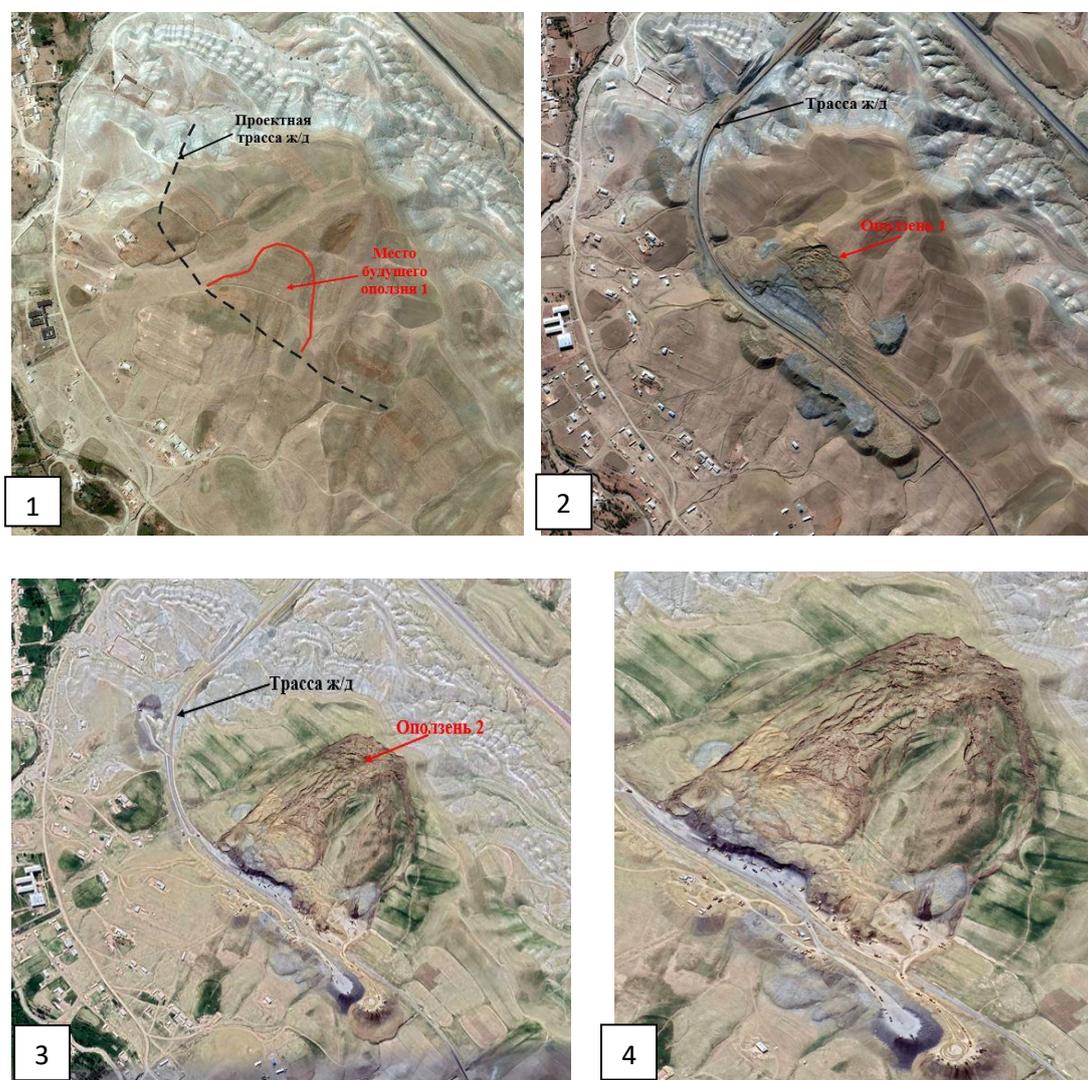


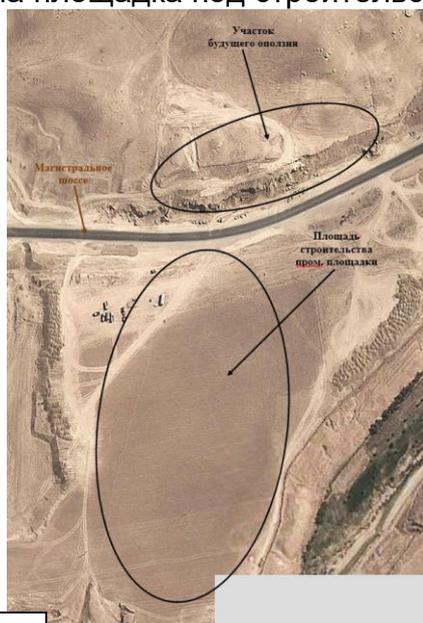
Рис. 3. Развитие оползневой ситуации на ж.д. Ташгузар-Байсун по космосъёмкам (3.1-съёмка 07,07,2004 г; 3.2-съёмка 09,10,2016 г; 3.3-съёмка 13,05,2019 г; 3.4-съёмка 29,04,2019 г)

Геологический разрез участка представлен песчаниками, алевролитами, глинами верхнемелового возраста, которые повсеместно перекрыты лессовидными суглинками с примесью более 20% обломочных пород. Подстилающие породы моноклинально залегают согласно падению склона. Причиной образования оползня является насыщение горных пород на склоне атмосферными осадками в апреле 2019 г, когда выпало 117 мм, что составило 233% среднемноголетней нормы (по данным метеостанции Дехканабад). Сместившаяся масса оползня сдвинула полотно железной дороги, в результате чего 5 вагонов сошли с рельсов. Социального ущерба нет. Сохраняется угроза полотну железной дороги на расстоянии 500 м.

Предпроектные расчёты на участке показали запас устойчивости на пределе 1,2-1,07 в зависимости от глубины залегания зоны скольжения пород (с учётом сейсмичности и динамического воздействия поезда).

Расчётные выводы получили реальное подтверждение развитием оползней в условиях высоких динамических нагрузок железнодорожного транспорта, сейсмичности территории и больших объёмов атмосферных осадков. Развитие оползневых процессов проиллюстрированы космоснимками территории до строительства железной дороги и на 2019 г после оползня (рис. 3). По космоснимкам можно оценить последовательность развития оползней, их масштаб, структуру и последствия. Показательным в отношении освоения территории (строительство инженерных объектов и линейных сооружений) является участок «Гумбулак» в бассейне р. Кичик-Урадарья.

На рис. 4.1 приведён космоснимок территории на 08.09.2011 г на которой спланирована площадка под строительство промышленного объекта



1



2



3



4

Рис. 4. Развитие производственной инфраструктуры в условиях оползневой опасности на участке Гумбулак в Кашкадарьинской области по данным оптических космосъёмок (4.1-съёмка 08,09,2011 г; 4.2-съёмка 26,10,2014 г; 4.3-съёмка 26,03,2016 г; 4.4-съёмка 13.05. 2019 г)

Из элементов инфраструктуры вдоль границы террасы с прилегающим склоном проходит автомагистраль М-39 Ташкент-Термез. На правобережной террасе р. Кичик-Урадарья к ноябрю 2014 г были построены основные объекты промышленного комплекса (рис. 4.2).

По данным космосъёмки 26.10.2014 г на снимке по верховому откосу автомагистрали выделяется новый оползень.

Оползень не завершённый, склон характеризуется формированием стенки отрыва и дроблением пород в оползневом массиве. Оползень фронтального типа произошёл в лессовых породах и расположен в 20-22 м выше автомагистрали, которую он практически не затронул.

Тело оползня в верхней и средней частях слабо деформировано, в нижней языковой части с поверхности раздроблено, что свидетельствует о низкой влажности пород в массиве.

В 30 м над основной стенкой отрыва на левом крыле формируется новый закол, что свидетельствует о возможном расширении оползня. На момент космосъёмки можно определить следующие параметры оползня: длина – 95 м; ширина – 200 м; абс.отм. – 735-756 м; площадь оползня – 15 тыс.м<sup>2</sup>.

В случае повторной активизации данного оползня и смещения всего объема оползневые масс перекроют автомагистраль на протяжении 200-230 м и могут достичь сооружений промышленного объекта, расположенного в 65-70 м.

После 2015 г фиксируются работы по ликвидации инженерных объектов на производственной площадке видимо с опасностью активизации оползня в 150-200 м к востоку от площадки. Изменения подтверждаются космосъёмками начиная с 2016 г (рис. 4.3; 4.4)

Составление крупномасштабных космосхем оползневой опасности и освоенности территорий.

При разработке планов освоения территорий, строительстве крупных производственных объектов и протяжённых линейных сооружений перспективным является составление крупномасштабных космосхем с отражением как текущего состояния территорий, так и природных условий, обеспечивающих их безопасное строительство и эксплуатацию объектов в условиях угроз природного характера, в частности оползневых процессов.

На рис. 5 приведена «Крупномасштабная вырезка из космосхемы с параметрической характеристикой оползневых участков»

Дополнительно по каждому оползневому участку проведена параметризация оползня рис. 5 с координатной привязкой и определением пространственных параметров (длины, ширины, периметра, площади и объёма).

Данные космосхемы должны быть положены в основу планирования развития территорий, размещения объектов и сооружений с оценкой оползневых угроз и разработки превентивных мер по обеспечению безопасности объектов.

На рис. 6 представлен пример разработанной космосхемы оползневой ситуации современного состояния освоенности территории на примере бассейна р. Угам масштаба 1:5000.

На космосхеме показаны природные орографические элементы (в частности водотоки), инженерные сооружения (как площадные, так и линейные), социальные объекты (жилые строения).

Детально выделены участки развития оползневых процессов условно типизированных по возрасту (древние более 100 лет, старые произошедшие условно в последние 50-100 лет и современные возрастом до 50 лет).



Рис. 5. Крупно масштабная вырезка из космосхемы с параметрической характеристикой оползневых участков

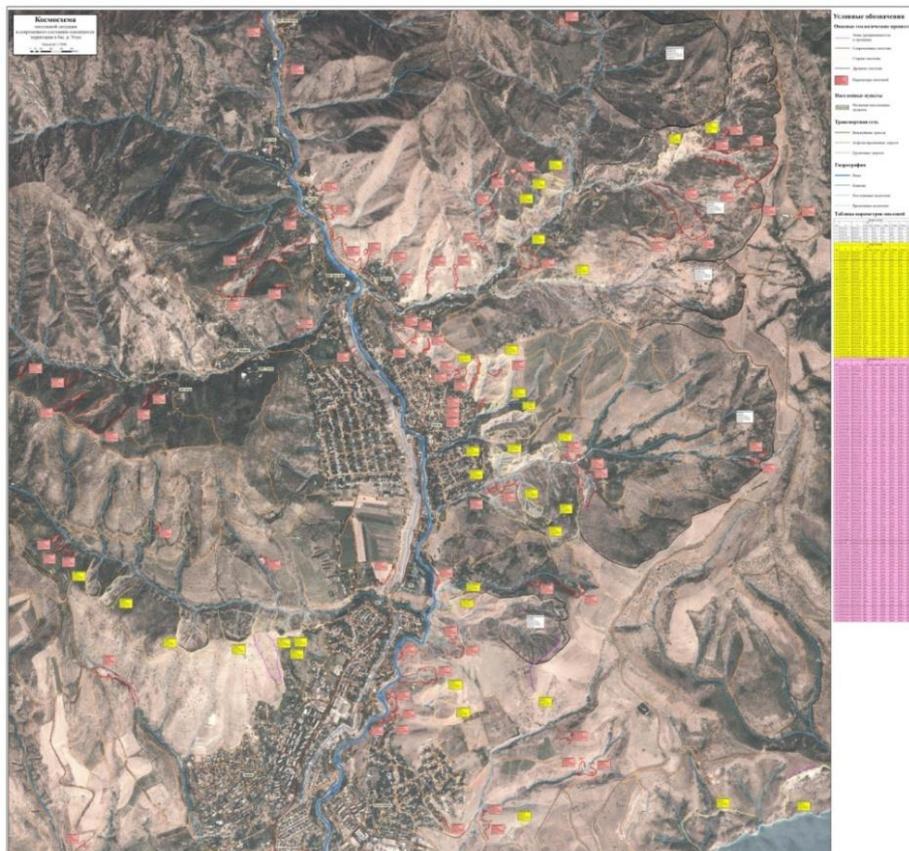


Рис. 6. Пример космосхемы масштаба 1:5000 по бассейну р.Угам на площади сел. Хумсан и северной части г.Чарвак

## Выводы.

1. Рассмотренный цикл анализа ситуации по данным космосъёмки высокого разрешения представляет собой основу объективного контроля оползневой обстановки на конкретном участке и изменение состояния освоенности территорий.

2. В области мониторинга оползневых процессов результаты космических съёмки расширяют возможности оперативного площадного мониторинга развития ЭГП, параметризации проявлений оползней, объективной оценки последствий их смещений.

3. С инженерно-геологической точки зрения с помощью космосъёмки можно проследить изменения природных условий территорий, освоенности и вызванные ими изменения на местности, выраженные в формировании оползней от стадии подготовки до стадии смещения (нередко с регистрацией повторных активизаций оползневого процесса).

4. Оценка оползневой опасности при проектировании и строительстве автомобильных и железных дорог показала высокую эффективность использования результатов космосъёмки высокого разрешения, что может быть рекомендовано при обосновании проектов освоения территорий под строительство масштабных инженерных сооружений и крупных экономических объектов.

5. Крупномасштабные Космосхемы представляют собой наглядный пространственно-ориентированный материал предупредительной информации об оползневой обстановке и современном состоянии освоенности территории.

6. В рамках АЦСРСБ в 2006 году разработан Проект «Страж Азии», ставящий своей задачей создание системы управления рисками стихийных бедствий в Азии, использующей спутниковые изображения. АЦСРСБ принимает от стран-членов и других участвующих в совместных проектах организаций запросы на наблюдение чрезвычайных ситуаций в рамках «Системы Поддержки Управления Рисками Стихийных Бедствий» представляющей собой одну из частей проекта «Страж Азии»<sup>1</sup>. Система предлагает карты и спутниковые изображения, а также собранную АЦСРСБ информацию об Азиатско-Тихоокеанском Регионе.

7. Опыт последних лет деятельности инженерно-геологической службы Республики Узбекистан в части контроля опасных геологических процессов и недопущения развития чрезвычайных ситуаций показал высокую эффективность применения результатов космической съёмки территорий. Положительные стороны внедрения подобного подхода подтверждаются всеми международными организациями занятыми проблемами обеспечения безопасности человека последних лет.

## Литература

1. Ниязов Р.А. Геологический риск опасных экзогенных процессов Узбекистана // Материалы международного симпозиума «Геологических риск: оценка и уменьшение». – Ташкент, 2003. – С. 20–30.
2. Ниязов Р.А., Минченко В.Д. Региональная оценка оползневого риска Узбекистана // Материалы международного симпозиума «Геологических риск: оценка и уменьшение». – Ташкент, 2003. – С. 156–165.



# РОЛЬ ДИСЛОКАЦИЙ ТРАНСФОРМНОГО ТИПА В РАЗМЕЩЕНИИ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ КЫЗЫЛКУМАХ

*Нуртаев Б.С, Цай О.Г, Курбанова Д.У.*

## THE ROLE OF TRANSFORM DISLOCATIONS IN THE PLACEMENT OF STRONG EARTHQUAKES AND LARGE DEPOSITS IN THE CENTRAL KYZYLKUM

*Nurtaev B.S., Tsai O.G., Kurbanova D.U.*

**Аннотация:** Приводятся результаты структурно-тектонического районирования Центрально-Кызылкумской золоторудной провинции, выполненного с геодинамических позиций на базе комплексирования всех имеющихся геолого-геофизических данных. Рассмотрена зональность в геофизических полях при формировании золото-редкометальных месторождений. Рудоносные черные сланцы в регионе развиты вдоль крупных глубинных разломов: в прогибах, региональных зонах сдвига (зонах смятия) и имеют видимые или невидимые связи с глубинными базит-гипербазитовыми, а также гранитоидными плутонами, локализуя под месторождением. В отличие от мелких и средних месторождений, образующих широтные пояса в соответствии с простиранием металлогенических зон Западного Узбекистана, крупные месторождения отчетливо контролируются долгоживущими поперечными дислокациями. Предполагается, что трансформные разломы на продолжении таких сквозных структур должны стать первоочередным объектом при поисках минерализации.

**Ключевые слова:** геодинамические обстановки, трансформные разломы, золото-редкометальные месторождения, черные сланцы, базит-гипербазитовые комплексы.

**Abstract:** The results of the structural-tectonic zoning of the Central Kyzylkum gold ore province, made from geodynamic positions, based on the integration of all available geological and geophysical data, are presented. Zonality in geophysical fields during the formation of gold-rare metal deposits is considered. Ore-bearing black shales in the region are developed along large deep faults: in troughs, regional shear zones and have visible or invisible connections with deep basite-hyperbasite formations, as well as granitoid plutons located under the field. Unlike small and medium-sized deposits, forming latitudinal belts in accordance with the strike of the metallogenic zones of western Uzbekistan, large deposits are clearly controlled by long-lived transverse dislocations. It is assumed that the transform faults on the continuation of such cross-cutting structures should become a priority object in the search for mineralization.

**Key words:** geodynamic settings, transform faults, gold-rare-metal deposits, black shale, basite-hyperbasite complexes

**Введение.** В связи с возрастающей актуальностью поисков новых рудных объектов, в первую очередь, крупных и суперкрупных по запасам металла, важное значение приобретают модели известных месторождений-гигантов в качестве эталонов для прогнозирования.

Однако их геодинамические условия и скрытые глубинные структуры большей частью остаются вне поля зрения, а, таким образом, разрывается связь коровых и близповерхностных процессов с глубинными мантийными источниками.

Одной из главных проблем современной геологии и металлогении черных сланцев остается проблема глубинного строения регионов с формированием рудоносных углеродистых формаций.

В связи с открытием в Центрально-Азиатском регионе крупных золоторудных объектов (Мурунтау, Кумтор, Бакырчик) интерес к таким супернакоплениям металлов в черных сланцах резко возрос, что явилось толчком к разработке моделей их образования.

Месторождение Мурунтау [1], уникальное по запасам золота, находится на северо востоке Центрально-Кызылкумский провинции; к западу, юго-западу от него промышленные месторождения золота и серебра – Косманачи, Амантайтау-Даугызтау-Высоковольтное и еще более 20 месторождений и рудопроявлений. Мурунтауское рудное поле и месторождение Мурунтау описаны в многочисленной литературе [1, 2 и ссылки в них].

**Методика исследований.** С целью исследования общих геолого-геофизических закономерностей строения недр и их физического состояния, выявления глубинных причин возникновения природных процессов, условий формирования и размещения месторождений полезных ископаемых Институтом геологии и геофизики на протяжении многих лет проводится глубинное изучение недр с использованием комплекса геолого-геофизических методов [3].

Объектами изучения являются важнейшие горнорудные, нефтегазоносные, сейсмоопасные и другие районы страны, исследования которых актуальны для расширения минерально-сырьевой базы, оценки геологических опасностей. Базы данных геологической и геофизической информации обрабатываются комплексно в среде ARCGIS.

Научные исследования развиваются в условиях постоянного обновления информации о геологическом строении и минерагеническом потенциале недр, появления новых идей и концепций. Известно, что зоны глубинных разломов разделяют земную кору на блоки разного строения [4].

По межблоковому положению устанавливаются границы соответствующих блоков, они определяют положение разделяющего глубинного разлома.

При интерпретации магнитных аномалий [5, 6] межблоковое положение зоны определяют по следующим признакам: резкая смена характера магнитного поля, смена уровня поля; резкая смена доминирующего направления локальных аномалий; наличие узких, протяженных, интенсивных локальных аномальных зон.

Вследствие большой протяженности глубинный разлом на разных участках может развиваться в различных геологических условиях, поэтому отдельные участки коры приобретают в процессе эволюции свои особенные черты, отражающиеся в магнитном поле меняющимися по простиранию характеристиками. В магнитном и гравитационном полях разломы совпадают с резкой границей. Узлы пересечений глубинных разломов и их окрестности являются местами повышенной интенсивности перемещения и преобразования глубинного вещества, служат зонами концентрации горных пород глубинного происхождения и связанных с ними полезных ископаемых.

К ним приурочена цепочка интрузивов, месторождений и рудопроявлений верхнепалеозойского возраста [4].

**Результаты.** Для крупных месторождений полезных ископаемых характерна связь с глубоко проникающими нарушениями, что отмечалось многими исследователями (Рис.1.) [1,4].

Многие золоторудные объекты, в том числе «черносланцевые», имеют видимые или невидимые связи с глубинными базит-гипербазитовыми или офиоли-

товыми комплексами. На уровне корневых частей рудные залежи месторождений Мурунтау, Кумтор, Бакырчик через систему глубинных разломов также связаны с выступами гранит-лейкогранитовых батолитов, а на верхнерудном срезе они сопряжены с дайковыми образованиями среднего, кислого и субщелочного состава.

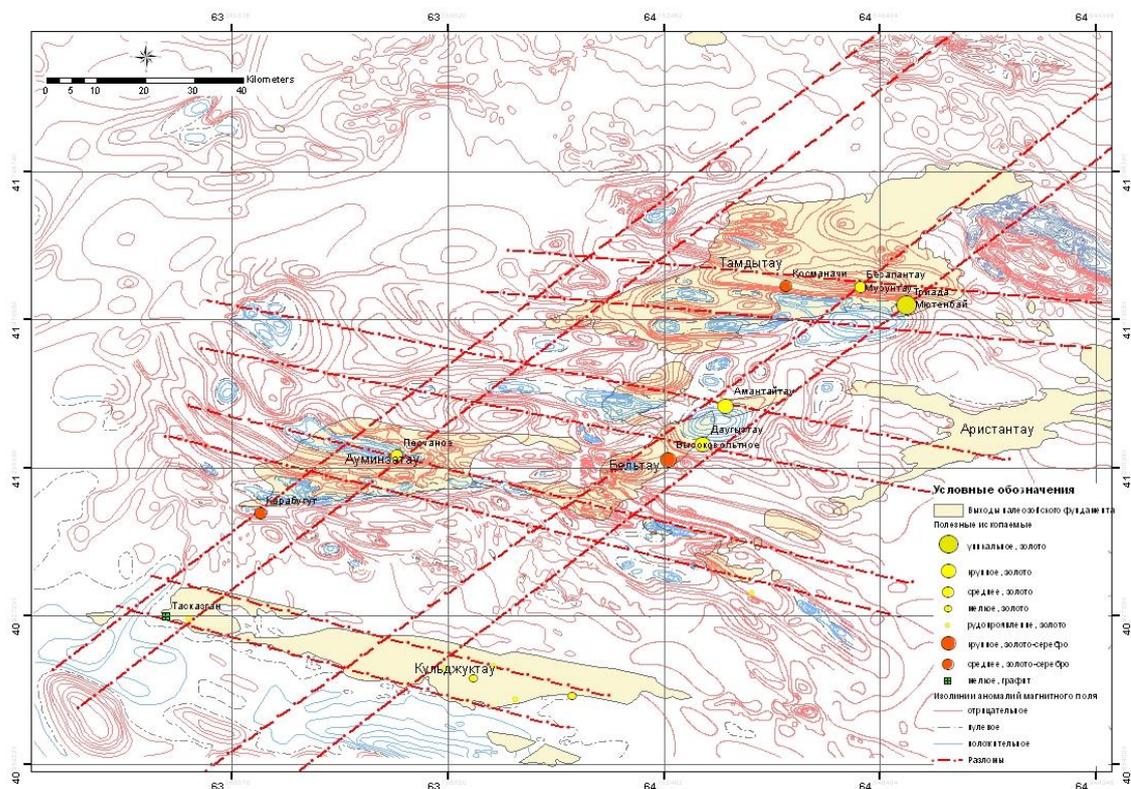


Рис.1 Каркасно - узловой характер размещения рудных полей Центральных Кызылкумов в поле магнитных аномалий.

Центрально-Кызылкумский по О.М. Борисову [7] глубинный разлом проходит по западным окончаниям г. Кульджуктау, Ауминзатау, Тамдытау, и уходит далее на юго-западное окончание хр. Большой Каратау.

В магнитных и гравитационных полях выделяется проходящий параллельно ему разлом, к которому приурочены месторождения золота и серебра. Пересечение разломов различных систем и наличие вулканотектонических структур определило каркасно - узловой характер размещения рудных полей.

В местах пересечения разломов разного направления образуются зоны повышенной проницаемости, выступающие в качестве каналов для дегазации мантии и выхода флюидов, фиксируется широкое развитие гранитоидных массивов. В мезо-кайнозойском чехле зона разломов выражена в рельефе (желобобразный прогиб) и системой кулисообразно расположенных сбросо-надвигов с амплитудой в несколько сот метров.

Рудоносные черные сланцы развиты вдоль глубинных разломов: в прогибах, региональных зонах сдвига (зонах смятия).

Выделенные дислокации пересекают сутурные зоны Туркестанского океана и характеризуются наличием длительно действующих тепловых потоков. В Тамдытау и Кульджуктау с ним связаны выходы на поверхность гипербазитов, что указывает на связь разломов с верхней мантией [8].

Тескудук - Ченгельдинский гипербазит-габбро-плагиогранитный массив расположен в северо-западной части Центрально-Кызылкумского рудно-магматического концентратора, западной оконечности хребта Тамдытау.

В юго-западной части Центрально-Кызылкумского рудно-магматического концентратора, западной оконечности хребта Кульджуктау расположен Бельтауский габбро-перидотитовый массив.

На продолжении зоны глубинных разломов на северо-востоке известно Чиилийское землетрясение 1929 года с  $M=6.5$ , а на юго-западе Газлийские землетрясения с  $M>7$ .

### Заключение

1. Важнейшими условиями для образования крупных месторождений в Центрально-Кызылкумской золоторудной провинции являются: развитие процессов, связанных с пересечением зоны столкновения континентальных масс трансформными разломами, наличие связи с глубинными базит-гипербазитовыми или офиолитовыми комплексами, наличие гранитоидов (непосредственно в рудных полях или под ними), в веществе которых участвует мантийная составляющая.

2. "Скрытые" субмеридиональные зоны разломов (глубинной трещиноватости) контролируют и вмещают крупнейшие золотые, серебряные, вольфрамовые, графитовые месторождения Центральных Кызылкумов.

3. Есть основания полагать, что в районах развития осадочных толщ эти зоны разломов могут контролировать размещение месторождений углеводородного сырья и сильных землетрясений.

### Литература

1. Золоторудное месторождение Мурунтау. Под ред. Т.Ш.Шаякубова. Ташкент, Фан, 1998, 539с.
2. Kempe, U., Graupner, T., Seltsmann, R., De Boorder, H., Dolgoplova A., Zeylmans van Emmichoven M., The Muruntau gold deposit (Uzbekistan): A unique ancient hydrothermal system in the southern Tien Shan. *Geoscience Frontiers*, 2016, 7, 495-528.
3. Нуртаев Б.С. Палеозойские сутуры, их положение и роль в геологической истории Южного Тянь-Шаня //Геология и минеральные ресурсы. 2015, №2, с. 3-11.
4. Коробейников А.Ф., Ананьев Ю.С., Гусев А.И., Ворошилов В.Г., Номоконова Г.Г., Пшеничкин А.Я., Тимкин Т.В. Рудно - метасоматическая и геохимическая зональность золоторудных полей и месторождений складчатых поясов Сибири. Издательство Томского политехнического университета. 2013. 457 с.
5. Мордвинцев О.П., Нуртаев Б.С. Тектонические нарушения северо-восточного простирания Западного Узбекистана по геофизическим данным. *Geologiya va mineral resurslar*, 2005, № 6, p. 30-36
6. Сидоров А. А., Волков А. В., Ващилов Ю. Я. О зонах субмеридиональных глубинных разломов северо-востока России. Доклады Академии Наук, 2008, том 423, № 4, с. 507–510
7. Борисов О.М., Глух А.К. Кольцевые структуры и линеаменты Средней Азии. - Т.: Фан, 1982. - 123 с.
8. Далимов Т.Н., Ганиев И.Н. Эволюция и типы магматизма Западного Тянь-Шаня. Ташкент: Университет, 2010. -226 с.



# МОНИТОРИНГ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ВОЛНИСТЫХ ПОПУГАЙЧИКОВ В ЗОНЕ СЕЙМИЧЕСКОГО РИСКА Г. АЛМАТЫ

*Ню В.А., Арифурова И.И., Суворцева Н.В.*

ТОО «Институт сейсмологии», Алматы, Казахстан

## MONITORING OF MOVEMENT ACTIVITY OF BUDGERIGARS IN ALMATY SEISMIC RISK REGION

*Nude V.A., Arifulova I.I., Surovtseva N.V.*

Institute of Seismology LLP, Almaty, Kazakhstan

**Аннотация.** Приводятся результаты трехлетнего мониторинга поведения волнистых попугайчиков. Показана зависимость двигательной активности птиц от атмосферных и космических факторов, сейсмических процессов. Проблема прогноза землетрясений крайне актуальна и сложна. Основой прогноза является система сейсмомониторинга, т.е. организация мониторинга сейсмических процессов в сейсмоактивных регионах различными физическими методами. В этой связи для решения задач краткосрочного прогноза используется междисциплинарный подход с привлечением таких наук, как геофизика, биология, физиология, метеорология, астрофизика, математика и др. Сейсмобиомониторинг – один из методов комплексного прогноза сейсмических процессов в Казахстане. За четыре дня до сейсмического события 28.04.2017 г. в течение двух суток регистрировалась аномальная активность волнистых попугайчиков, с амплитудой вариаций, превышающих порог  $3\sigma$ . Выявлена прямая связь параметров биологической активности с исследуемыми внешними факторами.

**Ключевые слова:** сейсмобиомониторинг, волнистые попугайчики, двигательная активность, сейсмические процессы, амплитуда вариаций, попугайчики, двигательная активность.

**Abstract.** Results of three-year long monitoring of the budgerigars behavior are given. Movement activity of the birds of atmospheric and cosmic factors, seismic processes dependence is shown. The problem of earthquake prediction is extremely relevant and complex. The basis of the forecast is a seismic monitoring system, i.e. organization of monitoring of seismic processes in seismically active regions by various physical methods. In this regard, to solve the problems of short-term forecasting, an interdisciplinary approach is used involving such sciences as geophysics, biology, physiology, meteorology, astrophysics, mathematics and others. Seismobiomonitoring is one of the methods for the integrated forecast of seismic processes in Kazakhstan. Four days before the seismic event of April 28, 2017, anomalous activity of budgerigars was recorded for two days, with an amplitude of variations exceeding the threshold of  $3\sigma$ . A direct relationship between the parameters of biological activity and the studied external factors was revealed.

**Key words:** seismobiomonitoring, budgerigars, movement activity, seismic processes, amplitude of variations, parrots, physical activity.

**Введение.** Объектами наблюдения являлись животные и птицы исследуемые в специальных биологических стационарах. Для организации наблюдений в рамках сейсмобиомониторинга необходим выбор животных, которые достаточно четко реагировали бы на изменения в окружающей среде. Птицы очень чувствительны к магнитным потокам Земли и являются очень удобными и перспективными объектами наблюдений. Анализ литературы показал, что практически в 50% случаев среди животных, ощущающих приближение землетрясений, были птицы [1].

В этой связи волнистые попугайчики были выбраны как объект наблюдений на сейсмобиостационарах, и вот уже более 15 лет их поведение изучается. Основой наблюдения за поведением птиц в зоне сейсмической уязвимости является изучение вариаций двигательной активности (суточных и сезонных) и выявление корреляционных связей данного параметра с атмосферными, космическими и сейсмическими факторами. Мониторинг осуществлялся на одном из биостационаров Алматинского прогностического полигона, расположенном в черте г. Алматы.

**Методика исследования.** Регистрация двигательной активности попугайчиков велась в автоматическом режиме при помощи прибора «РДА-П» (Рис. 1), фиксирующего суммарную почасовую двигательную активность птиц [1].

Информативными параметрами являлись изменение амплитуды вариаций параметра, рассогласование и инверсия суточного ритма.



Рис. 1 – Прибор для измерения двигательной активности волнистых попугайчиков

Обработка данных сводилась к расчёту значений среднего квадратичного отклонения ( $\sigma$ ) для среднесуточных данных. Выявлялись аномалии, выходящие за пределы доверительного коридора  $\sigma = \pm 2$  – отклонения от фонового уровня и  $\sigma = \pm 3$  – критический уровень, отражающий аномалии предвестникового характера [2].

Одновременно с регистрацией двигательной активности проводилось измерение атмосферных параметров (температуры воздуха и атмосферного давления). Данные о геомагнитных изменениях в магнитосфере Земли были получены с сайта «Тесис» [3].

Данные о солнечной активности (числа Вольфа) были получены с сайта Кисловодской Горной астрономической станции [4].

**Результаты исследований.** В работе представлены результаты трехлетнего мониторинга двигательной активности волнистых попугайчиков: графики и анализ вариаций; анализ корреляционных связей между исследуемым параметром и различными факторами, влияющими на двигательную активность птиц.

Ниже приводятся результаты сейсмобиомониторинга исследуемого параметра на Алматинском прогностическом полигоне.

Коэффициенты корреляции между двигательной активностью волнистых попугайчиков, атмосферными параметрами (температурой воздуха –  $t$ , атмосферным давлением –  $p$ ) и солнечной активностью –  $W$  за 2016-2018 годы представлены в табл. 1.

Анализ данных показал, что корреляционные связи между исследуемыми параметрами низки.

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции двигательной активности волнистых попугайчиков с атмосферными и космическими факторами

Годы	Da/t	Da/p	Da/W
2016	-0,36	0,36	0,23
2017	0,09	-0,06	0,05
2018	0,46	-0,4	0,0

При анализе двигательной активности волнистых попугайчиков в 2016-2018 годах путём расчёта среднего квадратического отклонения ( $\sigma$ ) были выявлены 45 аномалий. На рисунке 2 (А, Б, В) представлены вариации расчетного параметра  $\sigma$  за трехлетний период (2016-2018 гг.).

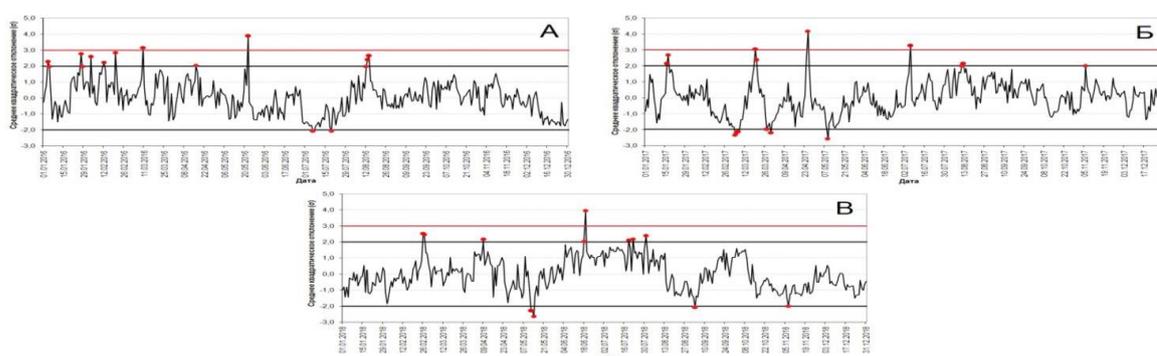


Рис. 2 – Вариации среднего квадратического отклонения ( $\sigma$ ) для двигательной активности волнистых попугайчиков за 2016 (А), 2017 (Б), 2018 (В) годы.

Как видно из таблицы 2 и рисунка 3 наибольшее влияние на поведение попугайчиков оказывали атмосферные факторы (такие как резкие перепады или значительные изменения температуры воздуха и атмосферного давления) и изменения в магнитосфере Земли (магнитные возмущения и магнитные бури), а также их совокупность. Биологические факторы, как правило, не оказывали большого влияния на активность птиц.

Таблица 2 – Факторы, оказывающие влияние на аномалии в поведении волнистых попугайчиков в 2016-2018 гг.

Факторы	%
атмосферные	33,3
магнитные	13,3
совокупность факторов	42,2
сейсмические	4,5
неясной природы	6,7

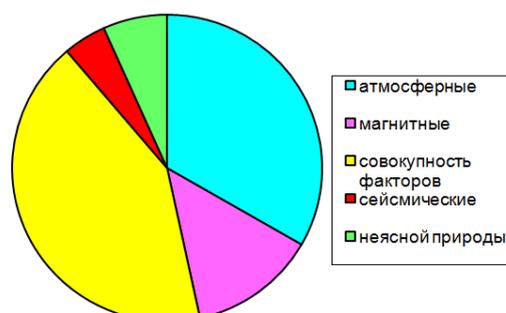


Рис. 3 – Соотношение факторов, влияющих на двигательную активность волнистых попугайчиков

На рисунке 4 представлены диаграммы распределения аномалий двигательной активности волнистых попугайчиков по месяцам за трехлетний период.

Из рисунков 4А и 4Б видно, что большая часть аномалий в двигательной активности волнистых попугайчиков приходится на месяцы с января по май и июль-август, с максимумами в марте и июле, наименьшее количество аномалий зарегистрировано в июне и с сентября по декабрь. Анализ данных показал повышение показателей двигательной активности волнистых попугайчиков за четыре дня до сейсмического события произошедшего в 147 км от г. Алматы на территории Кыргызстана 28 апреля в 11 ч 01 мин по времени г. Алматы (координаты эпицентра: 41°52' с.ш., 76°50' в.д.; энергетический класс землетрясения: 12,2), ощущалось в г.Алматы – 2 балла. Повышенная двигательная активность попугайчиков регистрировалась в течение двух дней ( $\sigma=2,6$  и  $\sigma=4,2$ ).

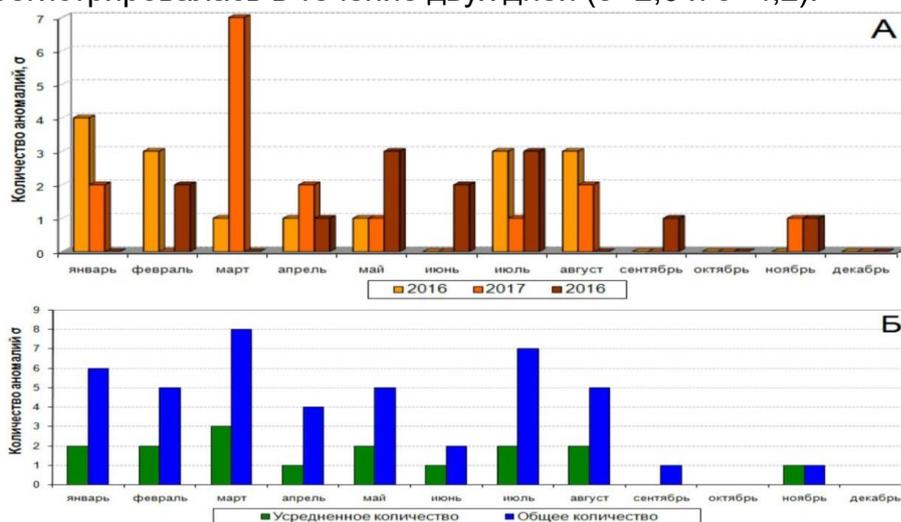


Рис. 4 – Аномалии двигательной активности волнистых попугайчиков за 2016-2018 гг.

## Выводы

1. Был проведен анализ данных трехлетнего мониторинга двигательной активности волнистых попугайчиков, содержащихся в вольерных условиях на одном из биологических стационарных пунктах Алматинского прогностического полигона, представлены схемы распределения повышенной активности птиц по месяцам, представлены графики корреляционных связей между двигательной активностью волнистых попугайчиков и атмосферными параметрами.

2. Анализ зависимости двигательной активности попугайчиков от атмосферных и космических факторов выявил четкую связь параметров биологической активности с исследуемыми внешними факторами. На основе автоматизированной регистрации двигательной активности птиц за четыре дня до сейсмического события 28.04.2017 г. в течение двух суток регистрировалась аномальная активность волнистых попугайчиков, с амплитудой вариаций, превышающих порог  $3\sigma$ .

## Литература

1. Серазетдинова Б.З. Сейсмобиология: теория, методы, практика прогноза землетрясений – Алматы: «Эверо». 2012. 364 с.
2. Серазетдинова Б.З., Адильгиреева С.Х., Арифупова И.И., Шимов С.В. Исследование активности животных на основе инструментальных методов регистрации в сейсмически уязвимом регионе Казахстана // Тез. докл. 5-й международной конференции «Сейсмичность, прогноз землетрясений, сейсмостойкое строительство». Азербайджан, Баку, 7-12 октября 2012. С. 372-380.
3. <http://www.thesis.lebedev.ru>
4. <http://old.solarstation.ru>

## ТРАВЕРТИНЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО АЛТАЯ: СВЯЗЬ С ПОДВИЖКАМИ ПО РАЗЛОМАМ И ПАЛЕОЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

*Позднякова Н.И., Деев Е.В., Дублянский Ю.В., Сокол Э.В.,  
Кох С.Н., Турова И.В., Русанов Г.Г.*

## TRAVERTINES OF THE SOUTHEASTERN GORNY ALTAI: CONNECTION WITH FAULT DISPLACEMENTS AND PALEOEARTHQUAKES

*Pozdnyakova N.I., Deev E.V., Dublyansky Yu.V., Sokol E.V., Kokh S.N., Turova I.V., Rusanov G.G.*

**Аннотация:** Установлено, что травертины кальцитовый и кальцит-арагонитовой композиций цементируют среднеплейстоцен-голоценовые коллювиальные, аллювиальные и аллювиальные отложения вееров вдоль активных разломов в юго-восточном Горном Алтае. Впервые проведенные в регионе  $^{230}\text{Th}$ - $^{\text{U}}$  датировки позволили определить возраст травертинов из шести полей. Возраст травертинов в пределах 1,2-11 тыс. лет согласуется с известными возрастными палеоартроз. Травертины с возрастом около 120 тыс. лет образуются в результате активации разломов на стадии деградации максимального оледенения Горного Алтая. Травертины с возрастом около 400 тыс. лет сформировались в основной фазе кайнозойского орогенеза Горного Алтая. Данные об изотопии углерода  $\text{CaCO}_3$  ( $\delta^{13}\text{C}$  от  $-4,1$  до  $+2,6$  ‰ V-PDB), который составляет травертины, указывают на то, что в его образовании участвовали два источника  $\text{CO}_2$ : «метеогенный» и «термогенный». Метаморфизм морских известняков и доломитов в зонах активных разломов во время сейсмических смещений рассматривается как основной источник «термогенного»  $\text{CO}_2$  при формировании травертинов.

**Ключевые слова:** травертины, геохронология U-серии, крупные палеоартки, активные разломы, неотектоника, Горный Алтай

**Abstract:** It was established that travertines of calcite and calcite-aragonite compositions cement Middle Pleistocene - Holocene colluvial, alluvial, and alluvial fan deposits along active faults in the southeastern Gorny Altai. First conducted in the region  $^{230}\text{Th}$ - $^{\text{U}}$  dating made it possible to determine the age of travertines from six fields. The age of travertines in the range 1.2-11 ka agree with known ages of palaeoearthquakes. Travertines with an age of about 120 ka formed as a result of the activation of faults at the stage of degradation of maximum glaciation of the Gorny Altai. Travertines with an age of about 400 ka formed in the main phase of the Cenozoic orogenesis of Gorny Altai. The data on the carbon isotopy of  $\text{CaCO}_3$  ( $\delta^{13}\text{C}$  from  $-4.1$  ‰ to  $+2.6$  ‰ V-PDB), which composes travertines, indicate that two sources of  $\text{CO}_2$  were involved in its formation: "meteogenic" and "thermogenic". Metamorphism of marine limestones and dolomites in active fault zones during seismic displacements is considered as the main source of "thermogenic"  $\text{CO}_2$  during the travertines formation.

**Keywords:** travertines, U-series geochronology, large paleoearthquakes, active faults, neotectonics, Gorny Altai

### Введение и постановка проблемы

Многочисленные исследования демонстрируют тесную связь карбонатных отложений источников подземных вод – травертинов – с тектонической активностью.

В [1] введен термин «травитоника» для обозначения связи травертинов с активными разломами. Известны попытки увязать мобилизацию обогащенных  $\text{CO}_2$  флюидов с сейсмическим триггером, использовать травертины для

определения возраста и периода повторяемости палеоземлетрясений, оценок скоростей сейсмогенных смещений вдоль разломов [2-4].

Первые травертины в Горном Алтае (рис. 1а) были открыты в 1936 году А.С. Мухиным на западном фланге Курайской зоны разломов. К настоящему моменту в Юго-Восточном Алтае нами исследовано 12 травертиновых комплексов, показаны их основные геологические, минералогические, геохимические и изотопные характеристики [5-8].

В настоящей работе на примере шести травертиновых комплексов сделана попытка выявления структурной взаимосвязи травертинов с активными разломами в обрамлении Чуйской и Курайской впадин и возрастной корреляции эпизодов формирования карбонатов с палеосейсмическими событиями.

**Методика исследований.** Комплекс методов исследования травертинов включал их полевую документацию и камеральные исследования с использованием современных возможностей поляризационной и сканирующей микроскопии, масс-спектрометрии, дифрактометрии, анализ стабильных изотопов,  $^{230}\text{Th}$ -U геохронологию.

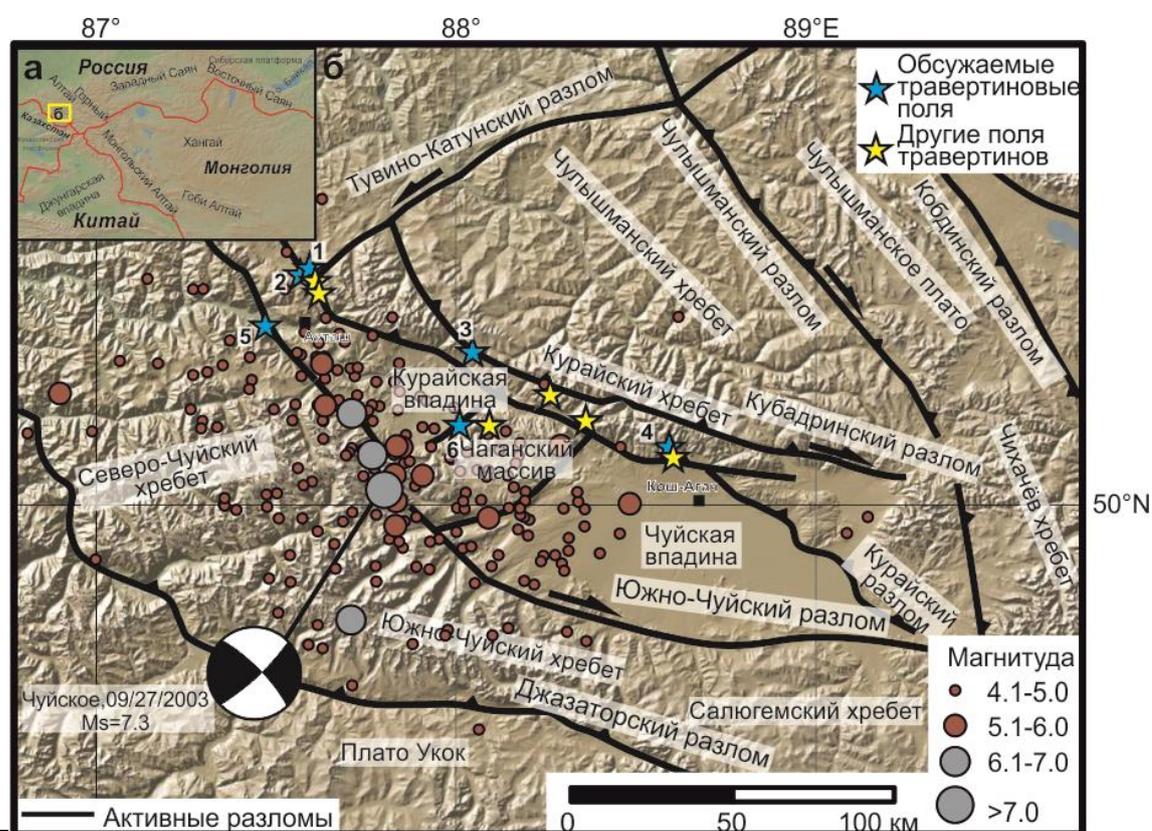


Рис. 1. а: Положение Юго-Восточного Алтая в структуре Центральной Азии. б: Основные активные разломы, сейсмичность и травертиновые поля района исследований, по [6] с изменениями и дополнениями. Эпицентры исторических и инструментальных землетрясений приведены по данным сейсмических каталогов NEIC и IRIS. Травертиновые поля: 1 – Чейбеккель 1, 2 – Чейбеккель 2, 3 – Курайка, 4 – Тотугем, 5 – Чибит, 6 – Балтырган.

**Результаты исследований.** Четыре исследованных поля – Чейбеккель 1 и 2, Курайка и Тотугем – пространственно связаны с активными разломами Курайской зоны (рис. 1б), поле Чибит – с Южно-Чуйским разломом, поле Балтырган – с западным разломным ограничением Чаганского блока, разделяющего Чуйскую и Курайскую впадины. Травертины цементируют среднеплейстоцен-

голоценовые коллювиальные, аллювиальные и пролювиальные отложения, преобразуя их в брекчии, конгломераты и песчаники.

Травертины исследованных полей состоят из двух полиморфных модификаций  $\text{CaCO}_3$  – кальцита и арагонита. Абсолютно во всех изученных образцах травертинов кальцит является преобладающей минеральной фазой. Спарритовый и микритовый кальцит бело-желтый или серый, образует цемент между обломками различных размеров и формы. Он образует слоистые агрегаты, которые окружают обломки.

Свободное пространство полостей и пор заполнено тесно упакованными идиоморфными ромбоэдрическими кристаллами размером до 1 мм.

Значения  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  были измерены в карбонатных образцах из всех исследованных полей травертинов. Изотопный состав  $\text{CaCO}_3$  из травертиновых комплексов Чейбеккель 1, Чейбеккель 2, Курайка и Балтырган имеет диапазон между +0.9 ‰ и -4.1 ‰ V-PDB для углерода и между -13.0 ‰ и -13.7 ‰ VPDB для кислорода. Кальцит с поля Тотугем заметно обогащен  $^{13}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}$  от +0.8 ‰ до +1.6 ‰ V-PDB), но имеет более низкие значения  $\delta^{18}\text{O}$  (-14.4 ‰ до -14.8 ‰ V-PDB). Кальцит с поля Чибит имеет наиболее тяжелый изотопный состав C и O ( $\delta^{13}\text{C} = +2.6$  ‰ VPDB;  $\delta^{18}\text{O} = -12.8$  ‰ V-PDB).

Впервые получено шесть  $^{230}\text{Th}$ -U возрастов травертинов для территории Горного Алтая. Проанализировано по одному образцу травертиновых цементов из каждого изученного комплекса.  $^{230}\text{Th}$ -U возраста разделяются на две группы, соответствующие среднему плейстоцену и концу позднего плейстоцена – голоцену. Наиболее древние травертины с возрастом около 400 тыс. лет находятся в пределах поля Балтырган, в восточной части Курайской впадины.

В конце среднего плейстоцена (около 120 тыс. лет назад) сформировались травертины поля Тотугем, которые связаны с Курайской зоной разломов на севере Чуйской впадины. Остальные поля травертинов, эпизоды формирования которых относятся к концу позднего плейстоцена и голоцену, в возрастном диапазоне 11-1.2 тыс. лет, приурочены к активным разломам в северной части Курайской впадины и к западу от нее.

Таким образом, намечается общая тенденция омоложения травертиновых комплексов с востока на запад изучаемой территории. При этом, возраста травертиновых комплексов в диапазоне 11-1.2 тыс. лет хорошо согласуются с известными возрастными палеоземлетрясениями [9-12].

Возраст травертинового комплекса Тотугем соответствует теплой подстадии 5е, после максимального покровного оледенения Горного Алтая. Активизация подвижек по разломам, которые могли сопровождаться землетрясениями, может быть связана с изостатической реакцией коры на снятие ледниковой нагрузки. Наконец, возраст комплекса Балтырган находится в пределах возрастного интервала башкаусской свиты – верхней среднеплейстоценовой грубообломочной части внутригорной буроцветной молассы. Накопление молассы соответствует основной стадии кайнозойского орогенеза Горного Алтая. Логично предположить, что подвижки по разломам в этот возрастной интервал также генерировали сильные землетрясения. Значения  $\delta^{13}\text{C}$  карбонатов, слагающих травертины, отражают вклад различных источников углерода, задействованных в садке  $\text{CaCO}_3$  из углекислых вод [6, 13-17].

Карбонаты изученных нами травертинов имеют достаточно выдержанный состав  $\delta^{13}\text{C}$  (от -4.1‰ до +2.6‰ V-PDB), т.е. они занимают промежуточное положение между “термогенными” и “метеогенными”, согласно классификации [15]. Это означает, что в формировании травертинов было задействовано два источника  $\text{CO}_2$  – “атмосферный” и, что особенно важно, “глубинный”.

Проведенный в [18] обзор показал, что источники подземных вод, обогащенные “глубинным” (“термогенным”)  $\text{CO}_2$  встречаются вдоль основных зон сейсмичности и наиболее часто в молодых орогенных поясах. При этом изотопия углерода указывает, что среди прочих важным источником  $\text{CO}_2$  является метаморфизм морских карбонатных пород.

Зафиксированы значительные объемы эмиссии  $\text{CO}_2$  (с запозданием от нескольких месяцев до полутора лет) после землетрясений 25 апреля 2015 (Mw = 7.8) в зоне Главного Гималайского надвига [19] и 26 ноября 2001 (Mw = 4.6) в зоне разлома Альто Тиберина в Северных Апеннинах [20].

Показано, что очаги таких флюидов могут располагаться в своеобразных камерах под давлением 50 МПа в зонах разломов на глубинах 5-7 км. Во время восходящего движения флюиды, с одной стороны, снижают сцепление между крыльями разлома, с другой стороны, вызывают в окружающем пространстве микроземлетрясения путем образования или реактивации мелких трещин, что соответствует афтершоковому процессу [20, 21].

По данным локальной томографии во время афтершокового процесса Чуйского землетрясения 2003 г. в зоне Южно-Чуйского разлома выявлены узкие (2-3 км) протяженные зоны пониженных скоростей, погружающиеся внутрь коры до глубин 15–17 км [22].

Эти зоны вполне могли соответствовать сегментам разлома, насыщенным  $\text{CO}_2$  флюидом.

Следовательно, травертиновые комплексы, приуроченные к активным разломам, ограничивающим Чуйскую и Курайскую впадину Горного Алтая, могли формироваться в результате усиления миграции и излияния на поверхность подземных флюидов, обогащенных “термогенным”  $\text{CO}_2$ , после сильных землетрясений.

### **Вывод**

С учетом приведенных фактов, а также хорошей корреляции полученных нами возрастов травертиновых комплексов с этапами четвертичной активизации движений земной коры на юго-востоке Горного Алтая и рубежами палеосейсмических событий, можно утверждать, что появляется возможность использовать абсолютный возраст карбонатов травертинов для определения возраста палеоземлетрясений региона.

### **Фондовая поддержка**

Исследования травертиновых комплексов и первичных палеосейсмодислокаций выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов 18-35-00280 мол\_а, № 18-05-00389\_а.

Определение абсолютных возрастов палеосейсмодислокаций выполнено при частичной финансовой поддержке проекта РНФ 19-17-00179.

### **Список литературы**

1. Hancock P.L., Chalmers R.M.L., Altunel E., Çakir Z. Travertines: using travertines in active fault studies // *Journal of Structural Geology*, 1999. V. 21. P. 903–916.
2. Martínez-Díaz J.J., Hernández-Enrile J.L. Using travertine deformations to characterize paleoseismic activity along an active oblique-slip fault: the Alhama de Murcia fault (Betic Cordillera, Spain // *Acta Geologica Hispanica*, 2001. V 36 (3–4). P 297–313.
3. Uysal I.T., Feng Y., Zhao J., Altunel E., Weatherley D., Karabacak V., Cengiz O., Golding S.D., Lawrens M.G., Collerson K.D. U-series dating and geochemical tracing of Late Quaternary travertines in co-seismic fissures // *Earth Planet. Sci. Lett*, 2007. V. 257. P. 450–462.

4. Karabacak V., Uysal I.T., Mutlu H., Ünal-İmer E., Dirik R.K., Feng Y-X., Akiska S., Aydoğdu İ., Zhao J-X. Are U-Th dates correlated with historical records of earthquakes? Constraints from co-seismic carbonate veins within the North Anatolian Fault Zone // *Tectonics*, 2019. doi:10.31223/osf.io/kbt6p.
5. Русанов Г.Г., Деев Е.В., Ряполова Ю.М., Зольников И.Д. Палеогидротермальная активность разломов Горного Алтая по результатам датирования травертинов // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*, 2013. № 4 (16). С. 53-64.
6. Kokh S.N., Sokol E.V., Deev E.V., Ryapolova Yu.M., Rusanov G.G., Tomilenko A.A., Bullbak T.A. Post-Late Glacial calcareous tufas from the Kurai fault zone (Southeastern Gornyy Altai, Russia) // *Sedimentary Geology*, 2017. V. 355. P. 1–19.
7. Деев Е.В., Сокол Э.В., Ряполова Ю.М., Кох С.Н., Русанов Г.Г. Четвертичные травертины Курайской зоны разломов (Горный Алтай) // *ДАН*, 2017. Т. 473. № 1. С. 54-59.
8. Кох С.Н., Сокол Э.В., Деев Е.В. Индикаторные характеристики современных и палеотравертинов Горного Алтая // *ДАН*, 2018. Т. 483. № 2. С. 180-185.
9. Deev E.V., Turova I.V., Borodovskiy A.P., Zolnikov I.D., Oleszczak L. Unknown large ancient earthquakes along the Kurai fault zone (Gornyy Altai): new results of palaeoseismological and archaeoseismological studies // *International Geology Review*, 2017. V. 59. Is. 3. P. 293–310.
10. Деев Е.В. Зоны концентрации древних и исторических землетрясений Горного Алтая // *Физика Земли*, 2019. № 3. С. 71-96.
11. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В. Сильнейшие землетрясения на юге Горного Алтая в голоцене // *Физика Земли*, 2008. № 6. С. 31-51.
12. Бутвиловский В.В. Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. Томск: Изд-во ТГУ, 1993. 252 с.
13. Шварцев С.Л., Лепокурова О.Е., Копылова Ю.Г. Геохимические механизмы образования травертинов из пресных вод на юге Западной Сибири // *Геология и геофизика*, 2007, Т. 48. № 8. С. 852-861.
14. Andrews J.E., Pedley H.M., Dennis P.F. Stable isotope record of palaeoclimate change in a British Holocene tufa // *Holocene*, 1994. V. 4. P. 349–355.
15. Pentecost A. *Travertine*. Berlin: Springer-Verlag, 2005. 446 p.
16. Andrews J.E. Palaeoclimatic records from stable isotopes in riverine tufas: synthesis and review // *Earth-Science Reviews*, 2006. V. 75. P. 85–104.
17. Kokh S.N., Shnyukov Y.F., Sokol E.V., Novikova S.A., Kozmenko O.A., Semenova D.V., Rybak E.N. Heavy carbon travertine related to methane generation: A case study of the Big Tarkhan cold spring, Kerch Peninsula, Crimea // *Sedimentary Geology*, 2015. V.325. P. 26–40.
18. Irwin W.P., Barnes I. Tectonic relations of carbon dioxide discharges and earthquakes // *J. Geophys. Res.*, 1980. V. 85. P. 3115–3121.
19. Girault F., Adhikari L.B., France-Lanord C., Agrinier P., Koirala B., Bhattarai M., Mahat S., Groppo C., Rolfo F., Bollinger L., Perrier F. Persistent CO<sub>2</sub> emissions and hydrothermal unrest following the 2015 earthquake in Nepal // *Nature Communications*, 2018. V. 9. pp. 2956.
20. Heinicke J., Braun T., Burgassi P., Italiano F., Martinelli G. Gas flux anomalies in seismogenic zones in the Upper Tiber Valley, Central Italy // *Geophys. J. Int.*, 2006. V. 167. P. 794–806.
21. Terakawa T., Zoporowski A., Galvan B., Miller S.A. High-pressure fluid at hypocentral depths in the L'Aquila region inferred from earthquake focal mechanisms // *Geology*, 2010. V. 38. P. 995–998.
22. Dorbath C., Van Der Woerd J., Arefiev S.S., Rogozhin E.A., Aptekman J.Y. Geological and seismological field observations in the epicentral region of the 27 September 2003 Mw 7.2 Gornyy Altay earthquake (Russia) // *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2008. V. 98. P. 2849–2865.



**БИОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ АКТИВНОСТИ ЖИВОТНЫХ В ЗОНЕ  
СЕЙСМИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ КАК ОТРАЖЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

*Серазетдинова Б.З.*

**BIOLOGICAL RHYTHMS OF ANIMAL ACTIVITY IN SEISMIC VULNERA-  
BILITY ZONE AS GEODYNAMICAL PROCESSES REFLECTION OF EARTH-  
QUAKES PREPARATION**

*Serazetdinova B.Z.*

**Аннотация:** обсуждаются проблемы ритмов биологических и геофизических процессов в период подготовки землетрясений. Ритмы внутриземных и космических процессов отражаются в вариациях геофизических полей следствием их воздействия и проявляются в активности животных. В периоды активности сейсмических процессов происходит потеря фоновой ритмичности на средних частотах и нарушение морфоструктуры локальных флуктуаций сигнала в вариациях комплекса геофизических и биологических параметров, что указывает на единый механизм воздействий космогенных и геогенных источников формирования очага землетрясений одновременно на геологическую среду и на живые объекты. Нарушения ритмичности выявленные в активности животных в области средних частот могут быть использованы как прогностические критерии для краткосрочного прогноза землетрясений.

**Ключевые слова:** биологические ритмы, активность животных, геодинамические процессы, вейвлет-анализ, землетрясение, аномальные явления.

**Abstract:** Abstract: The problems of rhythms of biological and geophysical processes during the preparation of earthquakes are discussed. The rhythms of the intra-terrestrial and space processes are reflected in variations of geophysical fields due to their influence and are manifested in the activity of animals. During periods of seismic activity, there is a loss of background rhythm at medium frequencies and a violation of the morphostructure of local signal fluctuations in variations of the complex of geophysical and biological parameters, which indicates a single mechanism of the influence of cosmogenic and geogenic sources of the formation of the earthquake focus on the geological environment and on living objects. Violations of rhythm revealed in the activity of animals in the mid-range frequencies can be used as prognostic criteria for a short-term forecast of earthquakes.

**Key words:** biological rhythms, animal activity, geodynamical processes, wavelet-analysis, earthquake, abnormal phenomena.

**Введение.** В настоящее время решение проблемы научного обоснования методов прогноза землетрясений базируется на стыке наук с позиции ритмичности геодинамических и сейсмических процессов, ее проявления вблизи земной поверхности и необычном поведении животных [1-3].

В живых организмах процессы жизнедеятельности имеют ритмическую природу. Современная хронобиология (наука о биологических ритмах) утверждает, что нормальная жизнедеятельность осуществляется только через периодические колебания физиологических функций, связанных между собой и с колебаниями внешней среды в единую ритмическую систему. При сопоставлении ритмов геофизических и биологических процессов выявлено их хорошее соответствие друг другу, что послужило основанием для предположения о существовании единой колебательной структуры этих процессов [3].

Задача исследования связи ритмов активности животных с ритмами геодинамических и сейсмических процессов возникла в связи с использованием

биологических объектов для краткосрочного прогноза землетрясений. Ритмичность и ее сбои в поведении животных позволяют определить характер ответных реакций биосистем на воздействие внешних полей. Различия в чувствительности к воздействию внешних полей у животных разных систематических групп дают возможность классифицировать типы реагирования живых систем, выделить особенности их реакций как на отдельные факторы внешней среды, так и при синхронных воздействиях на живые объекты нескольких факторов.

**Методики.** В связи с поиском «аномальных явлений» в поведении животных при прогнозе землетрясений возникают вопросы: какие гармоника активности различных животных связаны с космическими и внутриземными факторами? Для решения этой задачи создан мониторинг активности животных и разработаны методики наблюдения за поведением животных и интерпретации экспериментальных материалов [2].

**Результаты исследований.** Анализ экспериментальных материалов проводился с позиций теории нелинейных динамических систем. Известно, что некоторые переменные нелинейной динамической системы могут изменяться в узких пределах и быть устойчивыми к возмущающим воздействиям (состояние гомеостаза для биологических систем). В других случаях при изменении значений параметров нелинейной динамической системы ее поведение может меняться от периодического, квазипериодического (с двумя или тремя частотами), до хаотического [2]. Спектральный анализ позволяет определить частоты колебаний системы при периодическом и квазипериодическом режимах и выявить идентичность их масштабной инвариантности и подобие фрактальных структур.

При проведении детальных исследований по выявлению связи между вариациями геофизических полей и активностью животных на основе вейвлет-анализа использованы данные о вариациях звуковой активности (ЗА) волнистых попугайчиков (ВП); вариациях электрической активности кожи норных грызунов (кроликов): активной проводимости (АП) и сопротивление кожи в биологически активных точках (БАТ); температуры атмосферы; индексе геомагнитной активности ( $dst$ ); солнечной активности (числа Вольфа,  $W$ ); комплексного параметра, включающем сейсмический режим, вариации геомагнитного поля, гидрогеохимические, гидрогеологические показатели и деформации поля [2].

Результаты вейвлет-анализа вариаций биологических параметров и геофизических полей выявили в параметрах различных по природе полей присутствие одинаковых гармоник: в низкочастотной области спектра присутствуют сезонные (50-120 суток) и околосеasonные составляющие локального сигнала; на средних частотах выявляются сезонные (45-80 суток), околосеasonные (25-40 суток) и 2-х недельные гармоника (15-20 суток); в высокочастотной области спектра отчетливо выделяются околосеasonные (25-30 суток), 2-х недельные (12-20 суток), недельные (7-19 суток) и гармоника с периодичностью меньше недели (4-5 суток). В вариациях таких биологических параметров, как звуковая и двигательная активности волнистых попугайчиков (ЗА и ДА ВП) выделены гармонические составляющие длительностью больше 8-15 суток и менее недели (1-4 суток), проявляющиеся на всех масштабах. Они обладают отчетливо выраженной стабильностью в более высокочастотной области спектра, чем рассматриваемые выше параметры. Тем не менее, их масштабные инвариантности идентичны. В таблице представлены амплитудно-частотные характеристики локальных флуктуаций сигнала биологических и геофизических параметров. Выявлено, что в вариациях таких биологических параметров, как электрическое сопротивление кожи в БАТ у обитающих в норах кроликови звуковая активность волнистых попугайчиков четко выявляются ритмические составляющие. На малых масштабах

амплитуда локального сигнала колеблется в пределах 1–29 и 8–33 относительных единиц соответственно. На средних масштабах, т.е. в среднечастотной области спектра, ее значения для обоих биологических параметров одинаковы (30–60 относительных единиц). В низкочастотной области вейвлет-спектров значения амплитуды сигнала колеблются незначительно и составляют соответственно 60–90 и 75–120 относительных единиц. Геофизические параметры (индекс геомагнитной активности *dst*, температура воздуха в пунктах биологических наблюдений, число Вольфа и комплексный параметр) имеют одинаковую амплитуду сигнала на всех масштабах вейвлет-спектрограмм. Это свидетельствует о подобии фрактальных структур в вариациях различных по природе биологических и геофизических полей, их взаимосвязи и взаимообусловленности.

Таблица – Амплитудно-частотные характеристики локальных флуктуаций сигнала биологических и геофизических параметров

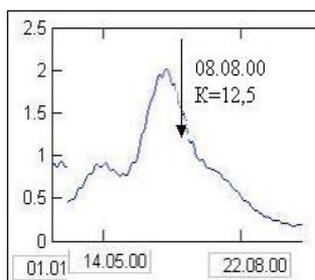
№п/п	Исследуемые параметры	Амплитуда сигнала, отн.ед.		
		На малых масштабах (частотах)	На средних масштабах (частотах)	На больших масштабах (частотах)
1	2	3	4	5
1	<i>Биологические:</i> Электрическое сопротивление кожи БАТ кроликов	1-29	30-59	60-90
2	Звуковая активность волнистых попугайчиков	8 -33	34 - 72	75 - 120
3	<i>Геофизические:</i> <i>dst</i>	1-29	30-59	60-90
4	Температура воздуха	1-29	30-59	60-90
5	Число Вольфа	1-29	30-59	60-90
6	Комплексный параметр	1-30	30-60	60-90

На рис. 1 - 2 представлены результаты детального анализа вейвлет-преобразований вариаций геофизических и биологических параметров. На рис. 1А видно, что аномальные вариации комплексного параметра, амплитуда которых превысила значения его критического уровня (более 1,0), возникли за пять месяцев до землетрясения. Сейсмическое событие произошло на спаде параметра. На вейвлет-спектрограмме 1Б показано, что накануне сейсмического события происходит нарушение ритмичности и структуры самоподобных «вилочек» в среднечастотном диапазоне, которые смещаются в высокочастотную область. Морфологические особенности тонкой структуры вейвлет-спектрограммы выявлены в локальных участках на средних масштабах.

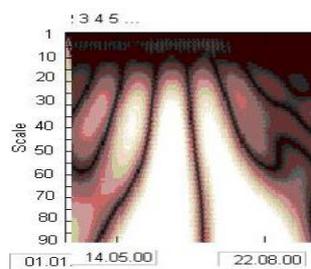
На рис. 2 А показаны вариации параметра АП БАТ обитающих в норах кроликов, динамика которых повторяет тенденцию формирования аномалий, показанной на рис. 1. Синхронность протекания процессов в геофизических и биологических полях указывают на единый механизм воздействий физических полей из очаговой зоны на геологическую среду и на живые объекты накануне сейсмического события. В биологических ритмах вариаций электрической активности (параметр АП БАТ) кожи норных кроликов обнаружен «сбой» (рис. 2).

В биологических ритмах вариаций электрической активности (параметр АП БАТ) кожи норных кроликов обнаружен «сбой» (рис. 2). Нарушения морфоструктуры, выраженные в потери ритмичности на средних частотах, аналогичны изменениям комплексного параметра, представленным на рис. 1.

Таким образом, нами выявлено, что накануне землетрясений с  $13 \geq K \geq 10$  происходят синхронные изменения ритмических составляющих, морфоструктуры самоподобных образований и масштабов комплексного и биологического параметров, выраженные в тонкой структуре - локальных участках на средних масштабах спектра.

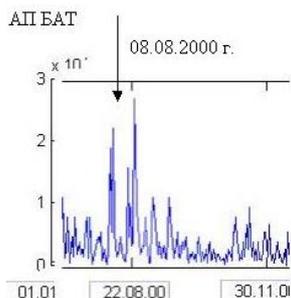


**А Комплексный параметр**

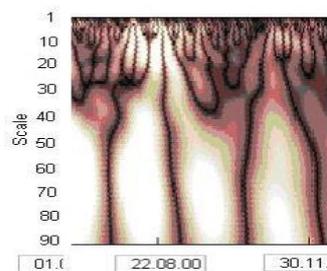


**Б Морфоструктуравейвлет-спектра**

Рис. 1 - Изменение морфоструктуры на вейвлет-спектрограмме комплексного параметра (ст. Курты) накануне, во время и после землетрясения 8.08.2000г. ( $K=12,5$ )



**А-Параметр АП БАТ**



**Б-Морфоструктуравейвлет-спектра вариаций АП Б**

Рис. 2 – Изменение вариаций и морфоструктуры вейвлет-спектра параметра АП БАТ накануне землетрясения 8.08.2000 г.

### Выводы

1. Ритмы как внутривоздушных, так и космических процессов, отражаются в вариациях геофизических полей и, как следствие их воздействия, проявляются в активности животных.

2. В периоды активизации сейсмических процессов, сопровождающихся сильными землетрясениями, «фоновая ритмичность» природных процессов и явлений нарушается. Происходит потеря ритмичности на средних частотах и нарушение морфоструктуры локальных флуктуаций сигнала в вариациях комплекса геофизических и биологических параметров.

3. Синхронность протекания процессов в геофизических и биологических полях свидетельствует о едином механизме воздействий космогенных и геогенных источников формирования очага землетрясений как на геологическую среду, так и на живые объекты.

4. Выявленные нарушения ритмичности в активности животных и морфоструктуры локальных флуктуаций в области средних частот могут быть использованы как прогностические критерии для краткосрочного прогноза землетрясений.

### Литература

1. Курскеев А. К. Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана. Эверо. Алматы. 2004, 504 с.
2. Серазетдинова Б.З. Сейсмобиология: теория, методы, практика прогноза землетрясений-Алматы: Эверо. 2012. 364 с.
3. Гамбурцев А. Г., Сидорин А. Я. Совпадение ритмов геофизических и биологических процессов // Сб. ОИФЗ РАН – М., 2004 – С. 381-395.

**ЦИФРОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ  
В СИСТЕМЕ СЕЙСМОБИОМОНИТОРИНГА**  
*Serazetdinova B.Z., Amirzhanova A.R.*

**DIGITAL PROCESSING OF BIOLOGICAL INFORMATION IN SEISMIC  
MONITORING SYSTEM**  
*Serazetdinova B.Z., Amirzhanova A.R.*

**Аннотация.** Представлена цифровая технология обработки вариаций активности животных в зоне сейсмического риска. Повышение эффективности критериев оценки прогностической ситуации в период подготовки землетрясений требует быстрой обработки полученной с полигона информации и принятия решений в оперативном режиме. В этой связи назрела необходимость перевода в цифровую форму значительных объемов данных в системе сейсмобиомониторинга, полученных визуальными методами наблюдений. Это позволит избежать субъективной оценки активности животных разными операторами и оценить вариации поведения по единой шкале. Созданный программный комплекс БИОПОЛИГОН позволяет осуществить качественную оценку поведения животных, полученную визуальными методами наблюдений в цифровую и значительно ускорить время обработки информации.

**Ключевые слова:** цифровая технология, поведение животных, сейсмобиомониторинг, критерии оценки, прогностическая ситуация.

**Abstract.** Digital processing technology of animal behavior variations in seismic risk zone is presented. Improving the criteria for evaluating the prognostic situation during the preparation of earthquakes requires quick processing of information received from the landfill and decision-making in the operational mode. In this regard, the need has arisen for digitizing significant amounts of data in the seismic biomonitoring system obtained by visual observation methods. This will avoid subjective assessment of animal activity by different operators and evaluate behavior variations on a single scale. The created BIOPOLIGON software package allows for a qualitative assessment of animal behavior obtained by visual observation methods in digital and significantly accelerate the processing of information.

**Key words:** Digital processin technology, animal behavior, seismic Monitoring, evaluation criteria, prognostic situation.

**Введение.** Для выявления аномальных реакций животных, возникающих в период подготовки землетрясений, необходимо не только повысить точность и надежность получаемой в процессе наблюдений информации, но и создать базы данных сейсмобиомониторинга и геофизических параметров определенных форматов и с заданной дискретностью на основе унифицированных программ построения исследовательских баз данных (ИБД).

**Метод исследований.** Оцифровка с помощью ГИС данных визуальных наблюдений за поведением различных животных и птиц как биоиндикаторов прогнозирования землетрясений в качестве биологической предвестниковой локации. Методы создания программных ГИС продуктов: Exell, MEZOZAUR, СУБД Visual FoxPro, с использованием графического редактора Delphi

**Результаты исследований.** Исследовательская база данных вариаций активности животных. Программы создания ИБД и их обработки разработаны с учетом специфики методов исследования [1].

Так, используемые в сейсмобиологии методы этологических визуальных наблюдений за активностью животных на биополигоне в силу своей специфики позволяют получить ряды визуальных наблюдений на основе качественных признаков описания поведения животных. Эта информация выходит за рамки общепринятых форматов цифровых данных, получаемых посредством геофизической аппаратуры. В этой связи, основной задачей для выполнения данной темы была разработка унифицированных программных средств для создания ИБД сейсмобиомониторинга, построенной по определенному формату с учетом специфики исследования состояния биообъектов и предназначенной для расчетов возможных взаимодействий геофизических и «биологических» полей в период подготовки землетрясений.

**Создание исследовательской базы данных по материалам визуальных наблюдений.** Для обработки данных о поведенческих реакциях животных использовался алгоритм «Animals» и создана ИБД вариаций активности декоративной породы кур бентамок за период 1997 – 2019 г. При этом, на основе программного модуля БИОПОЛИГОН создана база данных в текстовых форматах, которые могут быть встроены в стандартные комплексы Exell, MEZOZAUR и др. с возможностью использования их в любых системах управления базой данных СУБД (fox base и т.д.).

Программный модуль БИОПОЛИГОН апробирован на всех биостационарах в системе сейсмобиомониторинга. Разработка программного модуля БИОПОЛИГОН, созданного на основе новой версии СУБД Visual FoxPro с использованием графического редактора Delphi [2] включает выполнение следующих задач: создание алгоритма поведения животных, загрузка данных, создание алгоритма аномальных поведенческих реакций, создание программы выделения аномалий, расчет численных параметров аномального поведения животных, графическое представление вариаций активности животных и их оценка по шкале аномальных и прогностических признаков [1].

На рис. 1 - 4 показана его работа с экрана монитора, включая операции загрузки данных, обработки и получения графиков активности животных.

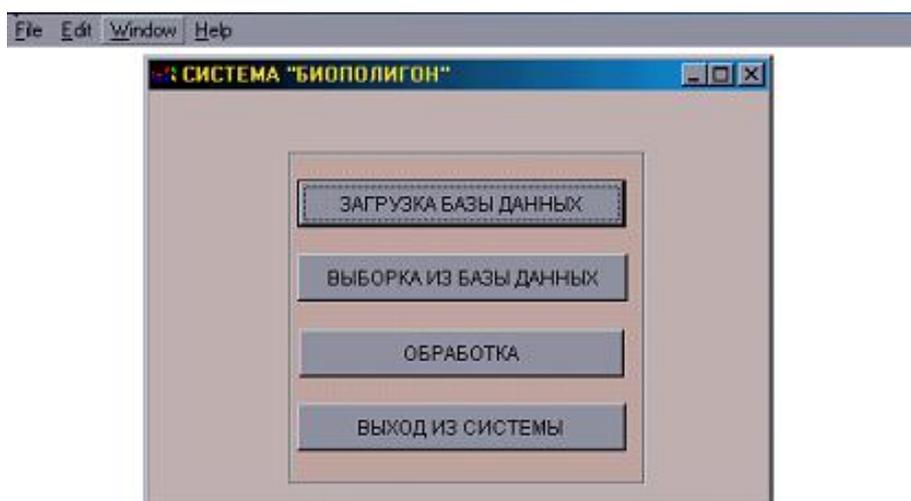


Рис. -1 Основные этапы обработки биологической информации

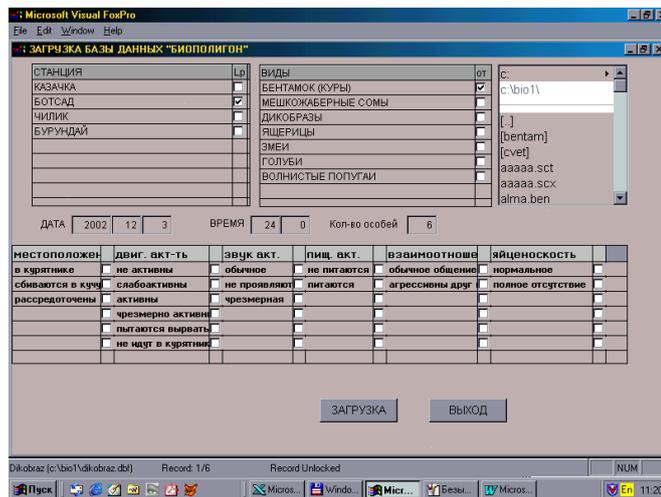


Рис. 2 - Этапы загрузки данных

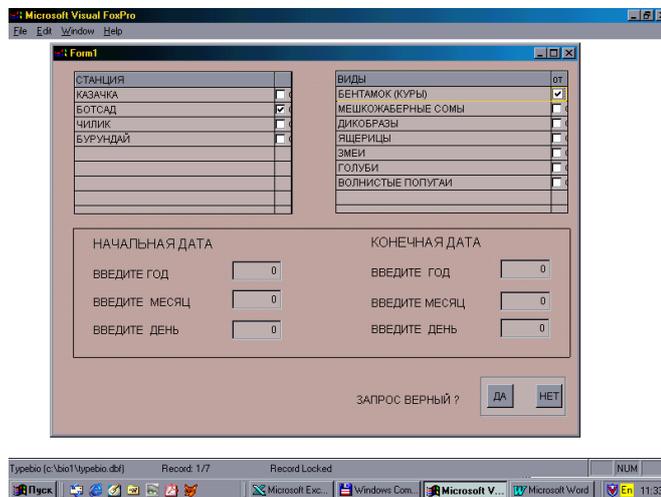


Рис. 3 – Этапы создания временных вариаций активности животных

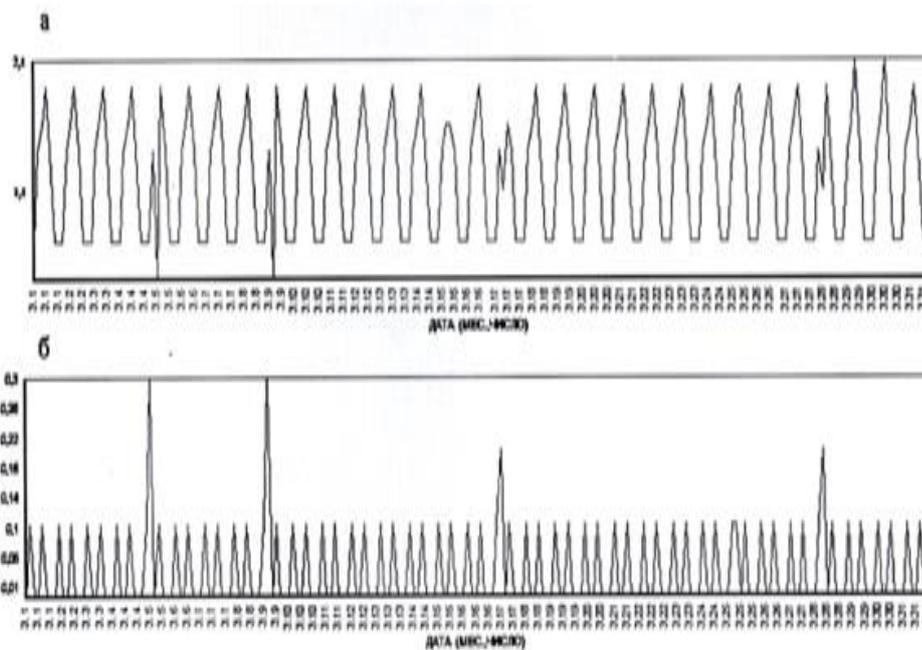


Рис. 4 - Этапы выделения аномальных вариаций активности животных на основе изменения их амплитуды

На рис. 5 показан график вариаций активности кур - бентамок на биополигоне Ботсад.

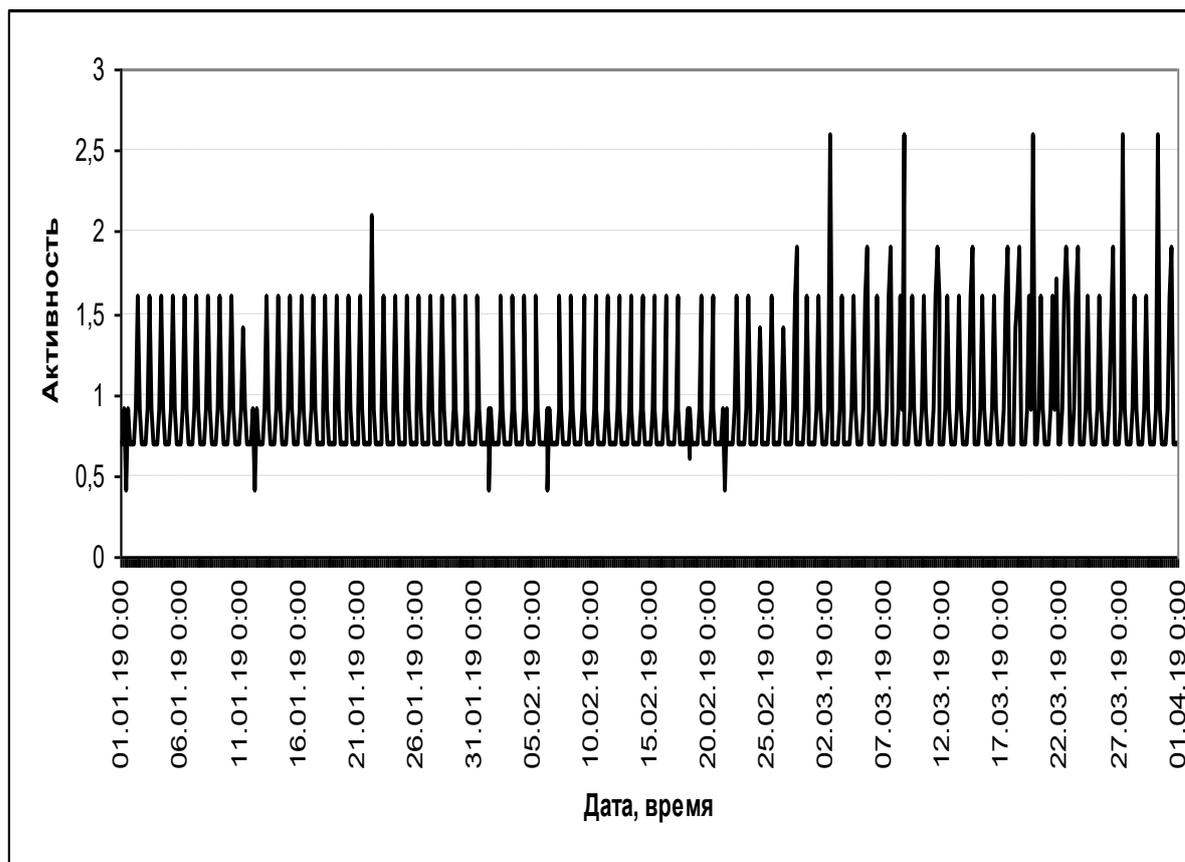


Рис. 5 - График вариаций активности кур - бентамок на биополигоне Ботсад

### Выводы

1. Согласно разработанной нами шкалы активности кур - бентамок амплитуда предвестниковых реакций животных значительно превышает фоновый уровень и ее значения колеблются выше 3,7 единиц активности.

2. Предложенный нами программный комплекс БИОПОЛИГОН позволяет перевести качественную оценку поведения животных, полученную визуальными методами наблюдений, в цифровую и значительно ускорить время обработки информации.

### Литература

1. Серазетдинова Б.З. Сейсмобиология: теория, методы, практика прогноза землетрясений. Алматы. «Эверо», 2012. 364 с.
2. Серазетдинова Б.З., Жунусова А., Кауазов А. М. Оценочные шкалы как критерии аномального поведения животных в сейсмически уязвимом регионе Казахстана // Abstr.8<sup>th</sup> Kazakhstan-China Intern. Symp. on Tianshan Earthquakes, 23-26 Sept., 2013. China, Urumgi, 2013. P.45

• • •

## СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОЗОНИРОВАНИЕ Г. АЛМАТЫ В УСКОРЕНИЯХ ГРУНТА

*Силачева Н.В., Кулбаева У.К., Кравченко Н.А.*

## SEISMIC MICROZONATION OF ALMATY CITY IN TERMS OF GROUND ACCELERATIONS

*Silacheva N.V., Kulbaeva U.K., Kravchenko N.A.*

**Аннотация.** В статье представлены методические основы, этапы работ и результаты нового сейсмического микрозонирования территории г. Алматы (Казахстан) в условиях пиковых ускорений грунта. Осуществлено вероятностное сейсмическое микрорайонирование территории г. Алматы в ускорениях грунта. Использован континуальный подход при учете влияния грунтовых условий на сейсмические воздействия в PGA, предполагающий непрерывное, а не скачкообразное изменение характеристик с учетом отклонения от нелинейности, что позволило избежать ошибок в используемой в Казахстане сейсмической шкале MSK-64(K) и отказаться от пересчетов ускорений в баллы и обратно, избежать дискретного представления непрерывных величин и перейти к прямому расчету конечных ускорений на основе сейсмических жесткостей, полученных при инженерно-геологических и инструментальных геофизических изысканиях. Полученные карты приняты и внедрены в ответственных инстанциях и подготовлены к введению в нормативные документы.

**Ключевые слова:** вероятностная оценка сейсмической опасности, микрозонирования, влияние площадок, пиковые ускорения грунта, карты, методы.

**Abstract.** The paper presents the methodical basis, stages of the work, and results of a new seismic microzonation of the territory of Almaty (Kazakhstan) in peak ground accelerations. Probabilistic seismic micro-zoning of the territory of the city of Almaty in soil accelerations was carried out. A continuum approach was used to take into account the influence of soil conditions on seismic impacts in the PGA, which supposes a continuous rather than abrupt change in characteristics taking into account deviations from non-linearity, which let to avoid errors in the MSK-64 (K) seismic scale used in Kazakhstan and rejected recalculations of accelerations in points and vice versa, to avoid a discrete representation of continuous quantities and go to a direct calculation of the final accelerations based on seismic stiffness obtained in engineering-geological and instrumental geophysical surveys. Received maps are accepted and implemented by the responsible authorities and prepared for introduction into regulatory documents.

**Key words:** probabilistic seismic hazard assessment, microzonations, incorporating site effects, peak ground accelerations, cards, methods.

**Введение.** Разрабатываемые карты сейсмического районирования являются основой для создания новых нормативных документов. Институтом сейсмологии Республики Казахстан совместно с другими организациями разработаны Карты Общего сейсмического зонирования (ОСЗ) территории Республики Казахстан и Карты сейсмического микрозонирования (СМЗ) территории г. Алматы на новой методической основе. В 2017 г. введен в действие Свод правил «Строительство в сейсмических районах Республики Казахстан» [1], включающий Вероятностные карты ОСЗ. Карты СМЗ прошли утверждение на техническом совете и подготовлены к введению в нормативные документы. Работы по детальному сейсмическому районированию областей предполагается начать до 2020 г. СМЗ территории г. Алматы выполнялось по заказу МОН РК в рамках программы НИР

«Разработка карты СМЗ территории г. Алматы на новой методической основе». Работы выполнялись ТОО «Институт сейсмологии» с привлечением на разных этапах специалистов и материалов ТОО «КазГИИЗ», ТОО «КазНИИСА» и РГП «ИГИ».

**Методология.** В Казахстане осуществляется переход к оценке сейсмической опасности и сейсмическому районированию на новой методической основе, сочетающей отечественные наработки и преимущества западного инженерного подхода. Разработанный пакет карт включает основной и дополнительный подкомплекты.

**Результаты исследований.** В основной вошли 5 карт: 1) Карта расчетных ускорений, предназначенная для прямого использования при строительных расчетах; 2-3) Вероятностные карты СМЗ в баллах MSK-64(K) [2] для двух уровней вероятности 10% и 2% за 50 лет; 4) Карта типов грунтовых условий по сейсмическим свойствам; 5) Карта инженерно-геологического районирования территории г. Алматы. В дополнительном помимо других карт представлены Карты вероятностной оценки исходной (фоновой) сейсмической опасности и карты СМЗ в пиковых ускорениях грунта (PGA) для двух уровней вероятности 10% и 2% за 50 лет.

В задачи нашей группы входило выполнение вероятностной оценки исходной сейсмической опасности территории города в PGA и разработка карт СМЗ в ускорениях на основе материалов инженерно-геологических изысканий, выполнявшихся ТОО «КазГИИЗ».

**Оценка исходной сейсмической опасности** в PGA выполнена на основе методологии, соответствующей положениям Еврокода 8 «Проектирование сейсмостойких конструкций» [3]. Расчеты на основе моделей сейсмических источников, оценок параметров сейсмического режима и прогнозных моделей затухания проведены для двух уровней вероятности превышения сейсмического эффекта – 10% (период повторяемости 475 лет) и 2% (период повторяемости 2475 лет) за 50 лет. Полученные показатели сейсмической опасности относятся к скальным референтным грунтам с сейсмической жесткостью  $R=2000 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  ( $V_{s30}=800 \text{ м/с}$ ,  $\rho=2.5 \text{ г/см}^3$ ).

**Модель сейсмических очагов** базируется на результатах сеймотектонического районирования. Сейсмические очаги представлены генерализованными сейсмогенерирующими зонами, значимо влияющими на сейсмический эффект на территории Алматы. Характер сейсмичности в зонах считается однородным. Общие контуры зон определяются на основе сегментации коры, с учетом крупномасштабных кинематических процессов, контролирующих распределение сейсмичности. Детальная геометрия отражает геологические особенности и картину распределения очагов. Расчет в PGA накладывает свои требования, связанные с более высокой чувствительностью параметра по сравнению с макросейсмической интенсивностью, функциональной формой современных моделей затухания и возможностями учета дополнительных параметров в используемом программном комплексе.

Модель сейсмических очагов включала 35 генерализованных сейсмических зон вокруг Алматы. Каждая зона задавалась геометрией, магнитудно-частотными характеристиками сейсмичности, максимальной магнитудой, вероятной глубиной и ожидаемой ориентацией разрывов. Очаги землетрясений увязываются с крупными геологическими структурными элементами, заданными генерализованными зонами, что позволило не вводить фоновую сейсмичность.

**Определение параметров повторяемости.** Для характеристики распределения количества землетрясений по магнитуде определялись параметры  $a$  и  $b$  в уравнении Гутенберга-Рихтера. Существенно дополнен и пересмотрен каталог землетрясений для территории, охватывающей выделенные сейсмогенерирующие зоны; выполнено его приведение сначала к магнитуде  $M_s$ , а затем к моментной магнитуде  $M_w$ ; проведена декластеризация каталога по алгоритму Гарднера-Кнопова [4], используемая для удаления из него зависимых событий. При определении периодов представительной регистрации по каталогу также использовался программный комплекс ZMAP [5]. Оценки параметров в уравнении Гуттенберга-Рихтера для зон выполнялись с помощью метода максимального подобия. Дополнительно использовалась программа расчета параметров, использующая процедуру [6], которая позволяет максимально учитывать каталог исторических землетрясений, при разных периодах представительной регистрации для разных магнитудных диапазонов данных. В отдельных зонах, где были выявлены характеристические землетрясения, сейсмичность моделировалась с учетом характеристических магнитуд.

**Модели затухания.** Землетрясения, сейсмический эффект от которых ожидается на территории г.Алматы, относятся к неглубоким коровым землетрясениям в тектонически активных районах. При выборе моделей прогнозирования сотрясений грунта применялись используемые в мировой практике методики отбора надежных моделей для таких сейсмотектонических условий. Проведен сравнительный анализ наиболее часто используемых моделей по разным параметрам, выявлены их преимущества и недостатки с позиций применения для прогноза воздействий в условиях г.Алматы. Отобраны наиболее надежные прогнозные модели и протестированы на созданной базе параметров движений грунта, а именно на региональных данных для пиковых ускорений и скоростей колебаний грунта. Проведенное исследование позволило сформировать минимальный набор моделей для использования при оценке исходной сейсмической опасности территории г.Алматы. Это модели Akkar-Bommer (2010), Chiou-Youngs (2008), Boore-Atkinson (2008)/ Atkinson-Boore (2011), Campbell-Bozorgnia (2008) и Zhao и др. (2006).

**Расчеты вероятностной исходной сейсмической опасности** выполнены с использованием программного обеспечения МЗС [7]. Оценки получены в среднегеометрических значениях PGA для территории, включающей г. Алматы в пределах  $43.00^{\circ}$ - $43.425^{\circ}$  с.ш. и  $76.72^{\circ}$ - $77.17^{\circ}$  в.д. по сетке с интервалом  $0.025^{\circ}$  в обоих направлениях. Для каждой расчетной точки учитывалось воздействие зон в пределах радиуса 250 км. На рис.1 полученные карты исходной сейсмической опасности представлены в границах территории г. Алматы.

**Учет влияния грунтовых условий.** Изначально сделана попытка выполнить пересчет исходных ускорений в баллы макросейсмической интенсивности], учесть поправки за грунтовые условия в пунктах размещения сейсмозондов, а затем вновь выполнить перевод в ускорения, используя формулы пересчета между баллами и PGA внутри категорий грунта [8, 9].

Однако, полученные неудовлетворительные результаты, а также широкое обсуждение в научной литературе неприемлемости традиционного представления о росте максимальных амплитуд в зависимости от типа грунта в два раза на балл, особенно для случая больших амплитуд (напр. [9]), заставило пересмотреть выбор методического подхода.

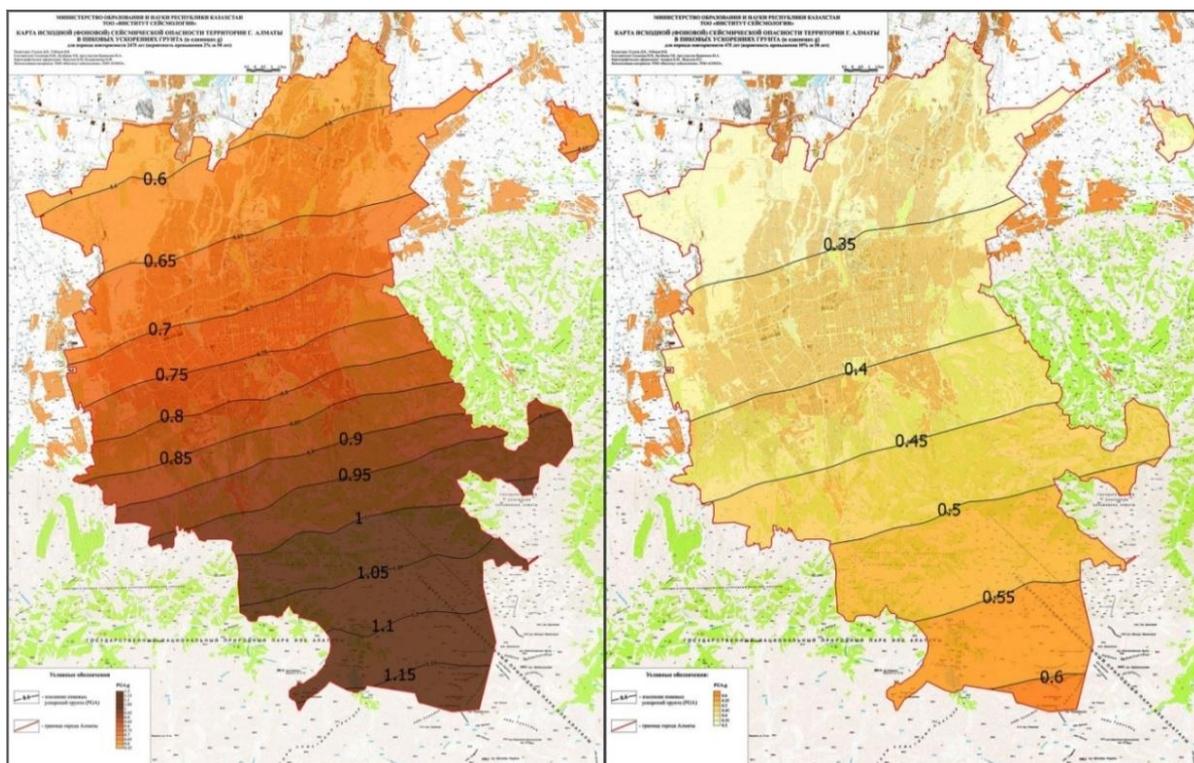


Рис. 1 - Карты вероятностной оценки исходной сейсмической опасности в PGA для периодов повторяемости 475 лет (слева) и 2475 лет (справа)

Была использована методика, предложенная А.С. Алешиным, в которой грунтовые коэффициенты в высокочастотной (более 2 Гц) и низкочастотной (от 0.25 до 2 Гц) частях спектра рассчитываются на основе их зависимости от величины сейсмической жесткости. Методика основана на континуальной теории сейсмического микрорайонирования [10], которая позволяет перейти от дискретной системы «сейсмическое воздействие – реакция грунта» к системе, где параметры сейсмических воздействий и показатели свойств грунтов меняются в пространстве непрерывно. Это дает возможность отойти от разбиения на грунтовые категории, приводящее к скачку при переходе от одной категории к другой (и увеличении силы исходных воздействий), что противоречит природе непрерывных по своей сути объектов.

Применение предложенного в [10] подхода позволило нам избежать ошибок, заложенных и в используемой сейсмической шкале MSK-64(K) [2], отказаться от пересчета ускорений в баллы и обратно, избежать дискретного представления непрерывных величин и перейти к прямому расчету конечных ускорений на основе скоростей поперечных волн и плотностей, полученных при инженерно-геологических и инструментальных геофизических изысканиях.

Для определения сейсмической жесткости использовались данные определений средневзвешенных значений поперечной скорости и плотности в 30-метровой толще в 1451 пункте на территории города. Влияние грунтовых условий учитывалось посредством грунтового коэффициента для короткопериодной части спектра. Согласно рекомендациям [10, 11], зависимость грунтовых коэффициентов  $F_a$  от сейсмической жесткости  $R$  в линейном диапазоне воздействий (ускорение исходных воздействий не превышает 0.25 g) рассчитывалось по формуле  $\lg F_a = -0.4 \lg R + 1.32$ . При более высоких исходных воздействиях для грунтов

с  $V_{s30} \geq 270$  м/с учитывался коэффициент отклонения от линейности, рекомендованный [11].

Для рыхлых грунтов ( $V_{s30} < 270$  м/с) PGA ограничивались максимальным значением  $0.675g$ . Коэффициенты, учитывающие характеристики рельефа в горной местности (крутизна склона более  $15^\circ$  и более  $30^\circ$ ) могут быть введены отдельно при разработке нормативных документов, как в [1].

Поскольку оценка исходной сейсмической опасности выполнялась в вероятностном варианте, то и карты СМЗ являются вероятностными. Для площадных распределений использовалась интерполяция методом кригинга по значениям, рассчитанным в пунктах расположения сейсмозондов. Так как плотность сейсмозондов не является равномерной, и метод интерполяции может вносить свои искажения, для полученных карт (расчетной и СМЗ) выполнена корректировка с учетом Карты категорий грунта по сейсмическим свойствам и Карты инженерно-геологических условий, предоставленных ТОО КазГИИЗ (рис. 2).

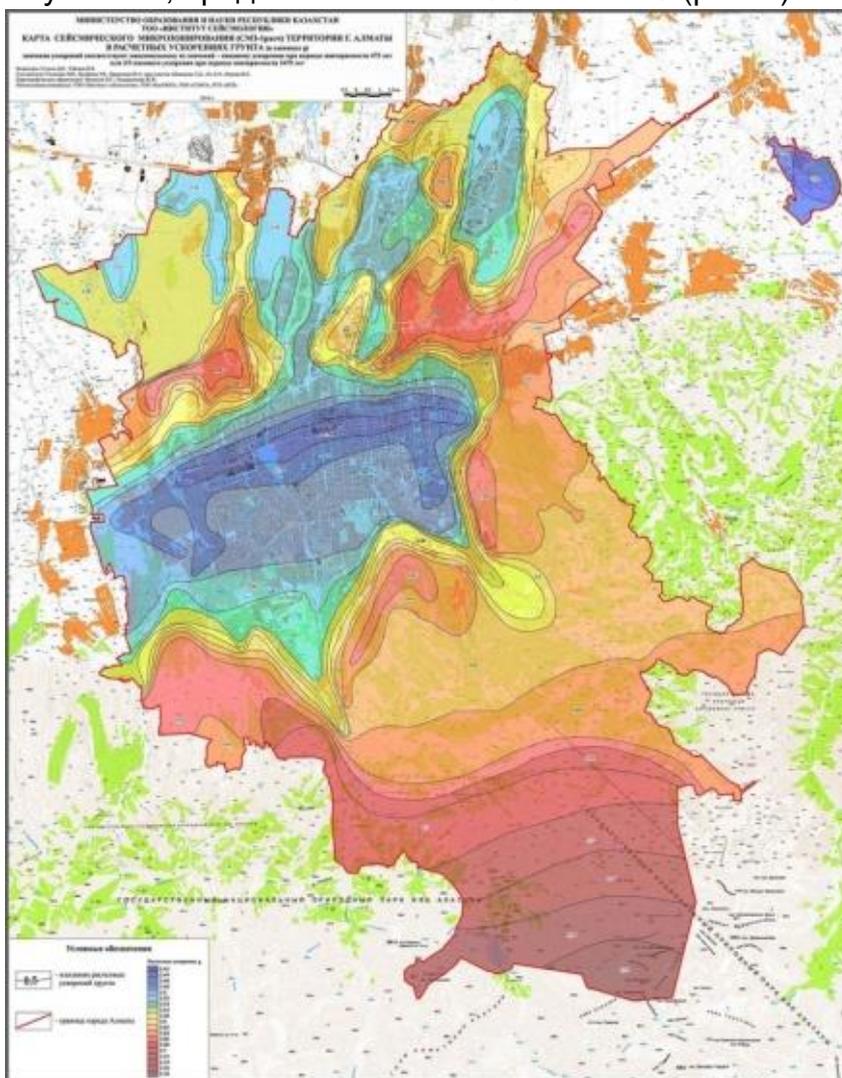


Рис. 2 - Карта расчетных ускорений для территории города Алматы

Карты в пиковых ускорениях характеризуют сейсмическую опасность в среднегеометрических значениях PGA в долях  $g$ . Изолинии проведены с шагом  $0.025g$  и являются границами интервалов, внутри которых значения неравномерно возрастают от изолинии с меньшим номиналом к изолинии с большим.

Карта расчетных ускорений, рассчитана на основе карт в пиковых ускорениях и позволяет напрямую снимать с нее значения для инженерных расчетов. Для удобства использования шаг изолиний на ней составляет 0.02g, и внутри интервалов значения не меняются. Ускорение в каждой расчетной точке этой карты соответствуют максимальной из двух величин – PGA при периоде повторяемости 475 лет или 2/3 PGA при периоде повторяемости 2475 лет. Карта СМЗ в расчетных ускорениях с учетом корректировки показана на (рис. 2).

## Выводы

1. Выполнено вероятностное сейсмическое микрорайонирование территории г. Алматы в инструментальных параметрах – ускорениях грунта.
2. Использован континуальный подход для учета влияния грунтовых условий на сейсмические воздействия в PGA, предполагающий непрерывное, а не скачкообразное изменение характеристик с учетом отклонения от нелинейности. Это позволило избежать ошибок, заложенных в используемой в Казахстане сейсмической шкале MSK-64(K), отказаться от пересчетов ускорений в баллы и обратно, избежать дискретного представления непрерывных величин и перейти к прямому расчету конечных ускорений на основе сейсмических жесткостей, полученных при инженерно-геологических и инструментальных геофизических изысканиях.
3. Полученные карты прошли утверждение в ответственных инстанциях и подготовлены к введению в нормативные документы.

## Литература

1. СП РК 2.03-30-2017. Строительство в сейсмических зонах. Астана, 2017.
2. СН РК 2.03-28-2004. Шкала для оценки интенсивности землетрясений MSK-64(K). Алматы, 2004.
3. BS EN 1998-1: 2004 Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2004.
4. Gardner, J. K., and L. Knopoff (1974), Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian, Bull. Seis. Soc. Am., 64(5), 1363–1367.
5. Wyss, M., Wiemer, S., Zuniga, R. ZMAP - a Tool for Analyses of Seismicity Patterns. 2001. 63 p.
6. Veneziano, D., Van Dycke, J. Seismic parameter estimation methods. EPRI/SOG. 1985.
7. Musson, R. PSHA using Monte Carlo simulation: M3C v3 User guide. Internal report IR/09/058, British Geological Survey. Personal communications, (2009) 31 p.
8. Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. М.: Наука и образование, 2012. 175 с.
9. Гусев А.А. О принципах картирования сейсмоопасных регионов Российской Федерации и нормирования сейсмических нагрузок в терминах сейсмических ускорений. <http://www.emsd.ru/~gusev/2011/Gusev2011MaxUskGrunta-IngIzysk-ptl&ll.pdf>
10. Алешин А.С. Континуальная теория сейсмического микро-районирования. М.: Научный мир, 2017. 302 с.
11. СП283.1325800. 2016. Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования. М., 2016.



## МОДЕЛЬ ОБЪЕМНОГО ОЧАГА И МЕХАНИЗМА ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

*Тажибает К.Т., Тажибаев Д.К.*

## MODEL OF THE VOLUMETRIC CENTRE AND THE MECHANISM OF TECTONIC EARTHQUAKES

*Tazhibaev K.T., Tazhibaev D.K.*

**Аннотация:** На основе установленного механизма горных ударов и анализа имеющихся экспериментальных характеристик и фактов тектонических землетрясений обоснована теоретическая модель объемных очагов и механизм землетрясений, которые позволяют объяснить местность, локализацию разломов и контакты магматических образований с катастрофическими сейсмическими событиями, а также с квадрантным и неквадрантным распределением (в знаке) первых поступлений продольных сейсмических волн на поверхность Земли. Следствием землетрясения могут быть движение магмы из вулканических очагов, из мантии, извержение вулканов. Магматизм в будущем в результате извержений эффузива или глубинного движения интрузива из высокотемпературной магмы при неравномерном застывании способна сохранить ("запомнить") энергию тепла в виде генетических остаточных напряжений. Потенциальная энергии упругой деформации может быть причиной землетрясения, так как при воздействии триггерных сил предельные остаточные напряжения обуславливают взрывоподобное динамическое разрушение горных пород.

**Ключевые слова:** землетрясение, горные удары, модель очага землетрясения, остаточное напряжение, тектонический разрыв, сейсмическая волна, упругая отдача.

**Abstract:** Based on the established mechanism of rock bursts, and analysis of the available experimental characteristics and facts of tectonic earthquakes, a theoretical model of volumetric focuses and the mechanism of earthquakes are substantiated, which make it possible to explain the terrain localization of faults and contacts of magmatic formations of catastrophic seismic events, as well as quadrant and non-quadrant distribution (in sign) of the first arrivals of longitudinal seismic waves on the surface of the earth. The earthquake may cause the movement of magma from volcanic sources, from the mantle, the eruption of volcanoes. Future magmatism as a result of effusive eruptions or deep intrusion movement from high-temperature magma with uneven solidification can save ("remember") the heat energy in the form of genetic residual stresses. The potential energy of elastic deformation can be the cause of an earthquake, because under the influence of trigger forces, the limiting residual stresses cause explosive dynamic destruction of rocks.

**Key words:** earthquake, rock bursts, earthquake focus model, residual stress, tectonic fault, seismic wave, elastic recoil.

**Введение.** В настоящее время основной причиной тектонических землетрясений считается предельное механическое напряжение, величина и характер которого является следствием главным образом гравитационных сил и в отдельных случаях напряжений тектонического происхождения. Механизм разрушения горных пород от предельного напряжения в очагах землетрясений изучен относительно слабо. Имеющиеся классические представления о механизме очагов землетрясений основаны на положениях теории упругой отдачи Рейда [1].

Согласно этой теории, механизм землетрясения объясняется тем, что в пре-

дельно напряженном локальном участке земной коры образуются трещины или разломы, при которых происходят "упругая отдача сторон (берегов) трещин к такому положению, в котором не существует упругая деформация", вибрации связанные с землетрясениями, зарождаются на поверхности разрыва. Дальнейшее развитие исследований определило открытие квадрантного распределения первых вступлений продольных волн, сделанное японскими сейсмологами. Сущность квадрантного распределения заключается в том, что первые вступления продольной волны в двух противоположных квадрантах сферы вокруг очага соответствуют волне сжатия, а в другой паре противоположных квадрантов сферы - волне разрежения.

На рис. 1 изображены разные виды первых вступлений продольных волн согласно существующим представлениям. Два больших круга на сфере, где происходит смена знака первых вступлений и где, таким образом, смещения равны нулю, называются нодальными линиями. Полная картина распределения первых вступлений продольных волн позволяет определить направления главных напряжений в очаге. В свое время на основе данных о распределении первых вступлений А.В. Веденская с сотрудниками построила карту напряженного состояния Земли [2], где показано, что наиболее сейсмически активная область земного шара - Тихоокеанский сейсмический пояс - находится в условиях горизонтального одностороннего сжатия, и наоборот, основные рифтовые структуры Земли (Срединно-Атлантический хребет, Восточно - Африканский и Байкальский рифты) находятся в условиях горизонтального растяжения.

По теории Рейда упругая отдача должна действовать только в направлении, перпендикулярном к поверхности трещины (разрыва), причем всегда и всюду должно наблюдаться только положительное первое вступление продольной волны (движение от очага к наблюдателю), так как по данной теории предполагается, что очаг - плоскость разрыва. Квадрантное и смешанное распределение положительных и отрицательных вступлений, установленное экспериментально, опровергает данное положение. Сдвиговая модель очага землетрясения, предложенная японским исследователем Накано, хотя и объясняет квадрантное распределение первых вступлений, но не согласуется с положением об упругой отдаче поверхности разрыва, а также с экспериментальными фактами несимметричного и смешанного распределения первых вступлений. Существующие теории и модели не раскрывают механизм возникновения землетрясений, не объясняют их периодичность, локальность и приуроченность к зонам тектонических разломов.

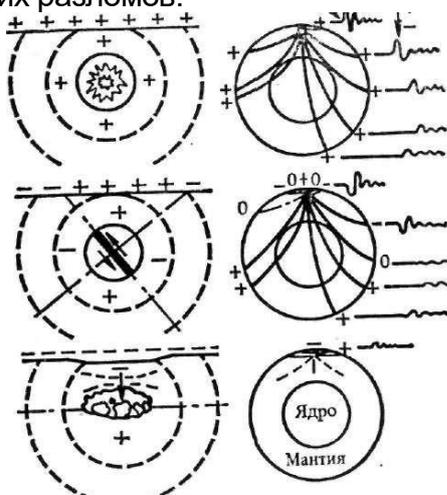


Рис.1. Схема распределения продольной волны при разных начальных импульсах. 1 - искусственный взрыв (верхний); 2 - тектоническое землетрясение (средний); 3 - обвальное землетрясение (нижний); (+) - первое движение от очага; (-) - первое движение к очагу.

**Методы и результаты исследований.** На основе установленного механизма

горных ударов, и анализа имеющихся экспериментальных характеристик и фактов тектонических землетрясений нами была обоснована теоретическая модель объёмных очагов и механизм землетрясений [3] (рис. 2).

Следует отметить, что горные удары и землетрясения необходимо разделить на тектонические и обвальные (гравитационные), так как в этих двух случаях механизм и характер разрушения горных пород в очаге разный. Обвальные горные удары и землетрясения возникают весьма редко и по силе слабые. В основном в земной коре и литосфере имеют место тектонические землетрясения. Так называемое вулканическое землетрясение - это следствие тектонического землетрясения. В отличие от обвального разрушения (разрушения от гравитационных сил) при тектоническом землетрясении, разрушение горных пород в объёмном очаге является взрывоподобным, т.е. происходит по принципу цепной реакции [3].

Сущность предлагаемой нами модели и механизма тектонических землетрясений поясняется на основе следующих положений и данных рис. 2

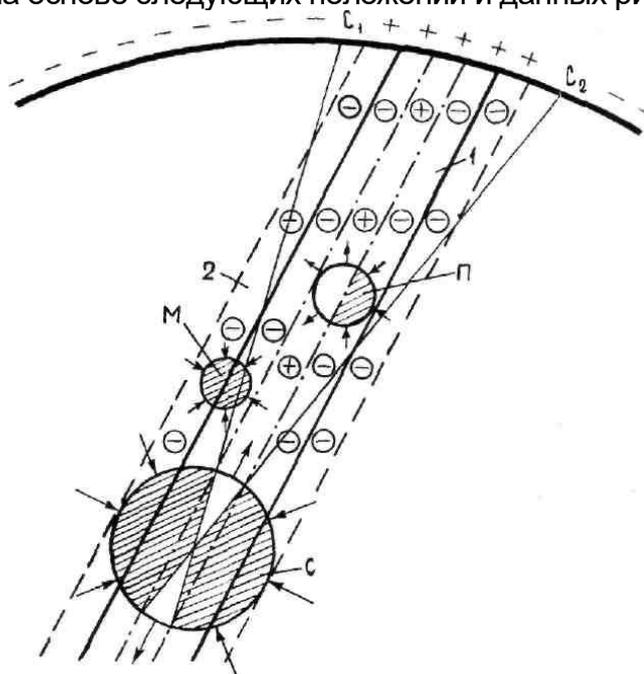


Рис. 2. Теоретическая модель объёмных очагов и механизма землетрясений.

С, П, М - очаги сильного, промежуточного, маломощного землетрясения соответственно;  
 1 – тектонический разлом; 2 – зона влияния разлома;  
 —•—•— – граница растягивающих остаточных напряжений;  
 ⊕ –растягивающее остаточное напряжение; ⊖ – сжимающее остаточное напряжение;  
 +, □ положительное первое вступление (движение от очага) продольной сейсмической волны;  
 - □ – отрицательное первое вступление (движение к очагу) продольной сейсмической волны.

1. Тектоническое землетрясение – это кратковременное сейсмическое колебание части литосферы вследствие самоподдерживающегося взрывоподобного разрушения предельно напряженных горных пород в объёмном очаге, обусловленной высвобождением по принципу цепной реакции энергии остаточных напряжений при нарушении их равновесия триггерными (спусковыми внешними) силами, т.е. силами, обусловленными слиянием гравитационного составляющего с силами планетарного взаимодействия Земли с небесными телами или концентрацией гравитационного напряжения в результате человеческой деятельности.

2. Самоподдерживающееся, взрывоподобное разрушение горных пород в объемном очаге обусловлено освобождением энергии предельных остаточных напряжений (при нарушении их равновесия), имеющих на структурных уровнях от кристаллической решетки до континентальных геологических отдельностей в зонах активных тектонических разломов, контактов магматических, гидротермальных, метаморфических горных пород.

3. Упругая отдача поверхностей полости, образованной при динамическом разрушении предельно напряженных горных пород в объемном очаге, является причиной сейсмических колебаний части литосферы.

4. Направление упругой отдачи зависит от знака напряжений имеющих на местах будущих поверхностей полости (очага) и обеспечивающих динамическое разрушение горных пород: при разрушении горных пород в пределах объемов, где имеются сжимающие напряжения, первые вступления продольной волны всюду отрицательные (движение к очагу); где имеются растягивающие напряжения первые вступления – положительные (движение от очага); где в очаге имеются и сжимающие и растягивающие напряжения, в зависимости от расположения этих напряжений, в разных местах земной поверхности первые вступления будут иметь разные знаки (см. рис.2), и в разных случаях возможно как симметричное, так и несимметричное распределение первых вступлений продольной упругой волны.

5. **Место** тектонических землетрясений – это зоны активных крупных тектонических разломов вытянутых вдоль границ литосферных плит, рифтовые зоны, зоны геологических нарушений, контактов и переходов магматических, гидротермальных и метаморфических горных пород – места, где имеются взаимно уравновешенные предельные остаточные напряжения. Конкретное место располагается в пределах вероятного места и определяется возможностью концентрации напряжений и действием триггерных сил в локальных участках в результате человеческой деятельности или действия природных сил.

6. **Время** тектонических землетрясений определяется периодом максимума сил планетарного взаимодействия Земли с небесными телами, временем концентрации (в напряженных зонах) гравитационных или других сил в результате человеческой деятельности и скоростью изменения напряженного состояния в массиве горных пород. Точное время сейсмического события определяется временем скачкообразного и часто знакопеременного изменения деформаций горных пород и напряжения магнитного, электрического поля перед тектоническими землетрясениями.

7. **Сила** (энергия) тектонического землетрясения определяется уровнем имеющих напряжений в окрестности контура будущего очага (гипоцентра) и объемом разрушенной части массива горных пород, т.е.:

$$W_r = \frac{\sigma_s^2 V}{2E} - \gamma_n S \quad (1),$$

где  $W_r$  - общая энергия горного удара или землетрясения;  $\sigma_s = \sigma_o + \sigma_r + \sigma_n$  - суммарное нормальное напряжение, действующее в окрестности контура очага;  $\sigma_o$  - остаточное напряжение;  $\sigma_r$  - гравитационное напряжение;  $\sigma_n$  - приливное (триггерное) напряжение;  $V$  - объем образованный при динамическом разрушении горных пород полости;  $\gamma_n$  – удельная поверхностная энергия разрушения (поверхностная энергия) горной породы;  $S$  – площадь вновь образованной поверхности при динамическом разрушении.

Как видно из рис. 2, наиболее сильные землетрясения дают квадрантное распределение первых вступлений продольной сейсмической волны. Согласно модели, это объясняется тем, что в данном случае объем образованной при разрушении горных пород полости (очага) значительный и охватывает участки с растягивающими и

сжимающими остаточными напряжениями. В перпендикулярных к поверхности полости направлениях из участков с растягивающими напряжениями излучаются волны сжатия, из участков со сжимающими напряжениями - соответственно волны разряжения (растяжения).

Маломощные землетрясения или сильные горные удары, согласно модели, происходят в основном в окрестности контакта разноименных метаморфических, магматических и гидротермальных горных пород и в основном всюду дают только отрицательные первые вступления, т.е. волну разряжения.

В модели это объясняется незначительностью объёма очага (образованной полости) и расположенностью его в пределах объёмов, где имеются преобладающие сжимающие напряжения.

Данное положение согласуется с экспериментальными фактами возникновения волн разгрузки и характером первых вступлений продольных волн при горных ударах. Например, "при микросейсмических наблюдениях за сотрясениями, вызываемыми горными ударами в шахтах Кладно (ЧССР), установлено, что на всех записях сотрясений вступление вертикальной компоненты отвечает разрежению "[4].

Промежуточные землетрясения по модели дают положительные и отрицательные первые вступления, но распределение их при этом не квадрантное. Следует отметить, что возможны отклонения от этих правил, т.е. согласно модели все зависит от того, где располагается очаг и каков его размер.

В модели допускается и такое естественное землетрясение (обычно редкое и несильное), от которого излучается во все стороны только волны сжатия (первое вступление всюду положительное), т.е. такое сотрясение, какое бывает от промышленного взрыва, осуществляемого в горных породах.

Допускается, что наиболее вероятная форма объёмного очага землетрясения (образованной от динамического разрушения горных пород полости) - эллипсоид вращения, большая полуось которой ориентирована по простиранию или падению разлома (активной зоны).

По сечению в перпендикулярном к большой полуоси направлении имеем круговую область (на рис. 2 она показана как очаг землетрясения). Указанная взаимосвязь землетрясений с генетическими остаточными напряжениями, уровень которых высок в зонах тектонических разломов, контактов магматических и гидротермальных образований согласуется с данными Ф.Н. Юдахина и Т.Я. Беленович [5], которые отмечают, что наиболее протяженные зоны сжатия и растяжения соответствуют границам микроплит, типы механизмов очагов землетрясений изменяются по обе стороны от крупных разломов, разделяющих микроплиты литосферы, землетрясения сгруппированы вдоль наклонных вытянутых узких зон и по вертикали.

Факт, установленный А.В. Введенской с учениками [2], о том, что в сейсмических поясах земного шара одна из главных осей напряжений, действующих в очагах, направлена почти горизонтально и преимущественно перпендикулярно к простиранию структур (например, простирание горных хребтов), независимо от глубины очага землетрясений, также свидетельствует о взаимосвязи генетических остаточных напряжений с землетрясениями.

Следует отметить, что сдвиг, сброс и другие виды разрушения, принимаемые в настоящее время за механизм землетрясения, это всего лишь частные следствия динамического разрушения горных пород в объёмном очаге. Предложенная объёмная модель очага и механизм землетрясений, основанный на концепции проявления остаточных напряжений от воздействия триггерных сил, подтверждается фактом совпадения зон землетрясений с зонами магматизма Земли.

Сравнение карты эпицентров землетрясений на всей поверхности земного шара с распределением магматизма на поверхности нашей планеты показывает, что

вытянутые зоны сильных землетрясений совпадают с главными ареалами в основном андезитового и частично базальтового магматизма [3].

С магматизмом, как указано выше, связано генетическое остаточное напряжение. С другой стороны, сейсмоактивные зоны расположены в горно-складчатых областях. Это свидетельствует о взаимосвязи процессов магматизма, землетрясения и горообразования. Взаимосвязь магматизма (вулканизма) и землетрясения отмечена в работах Б.Гутенберга, К.Рихтера, В.В.Ершова, А.А.Новикова, Г.Б.Попова [6, 7], приуроченность землетрясений к горноскладчатым областям - в работе В.Н.Шолпо [8], парагентическая связь тектонических движений с магматизмом - в работе М.В.Гзовского [9].

### Выводы

1. Движение магмы из вулканических очагов или из мантии, извержение вулканов или, скажем, магматизм могут быть следствием землетрясения, но в будущем, поскольку изверженная (эффузив) или глубинная не изверженная (интрузив) высокотемпературная магма при неравномерном застывании способна сохранить ("запомнить") часть энергии тепла в виде генетических остаточных напряжений (потенциальной энергии упругой деформации), может оказаться причиной, в свою очередь, землетрясения, так как при воздействии триггерных сил предельные остаточные напряжения обуславливают взрывоподобное динамическое разрушение горных пород.

2. Таким образом, может осуществляться, циклическое превращение тепловой энергии в потенциальную энергию упругой деформации (остаточных напряжений), которая в будущем при воздействии триггерных сил вызывая землетрясение сможет образовывать или возрождать разломы, расчищая путь, т.е. раскрывая канал для нового движения тепловой энергии и вещества из недр в виде расплавленной магмы. При соответствующих условиях возможно периодическое повторение цикла, через приблизительно равные промежутки времени.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1.Reid H.F. The elastic-rebound theory of earthquakes. University of California. Publ.Geol. Sci.-1911, 6. p413-444.
2. Балакина Л.М., Введенская А.В., Голубева Н.В. и др. Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений/ Сообщения. - М.-1971.-№8.- С.190.
- 3.Тажигаев К.Т., Условия динамического разрушения горных породы причины горных ударов. Фрунзе.-1989.-С.180.
- 4.Петухов И.М. горные удары в угольных шахтах. -М.-Недра.-1972.
- 5.Юдахин Ф.Н., Беленович Т.Я. К вопросу о динамике литосферы Тянь-Шаня/ Изв.АН Кирг.ССР// Физико-техн. и матем.науки.-Фрунзе.-1987.-С60-65.-№3.
- 6.Гутенберг Б., Рихтер К. Сейсмичность земли. - М., Госиздат. ИЛ.-1948.-С.159.
- 7.Ершов В.В., Новиков А.А., Попова Г.Б. Основы геологии. - М., Недра.-1986.-С. 310.
8. Шолпо В.Н. Структура Земли: Упорядоченность или беспорядок? -М.- 1986.- С. 160.
9. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. - М., Наука.-1975.-С.536.



## АНАЛИЗ РИСКА ОПОЛЗНЯ КОЙ-ТАШ В МАЙЛУУ-СУУ, КЫРГЫЗСТАН

*Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г.*

### RISK ANALYSIS OF THE LANDSLIDE “KOY-TASH” IN MAYLUU-SUU, KYRGYZSTAN

*Torgoev I.A., Alyoshin Yu.G.*

**Аннотация.** В статье рассмотрены результаты проведенных геофизических исследований для оценки рисков, связанных с возможным повторным смещением оползня Кой-Таш в р. Майлуу-Суу. Долгосрочные дозы по оценкам специалистов компании ВИСУТЕК (Германия) для населения из-за распространения радиоактивных хвостов могут составить до 20 мЗв/год. Рекомендуется в целях предотвращения разрушения хвостохранилищ №5,7 и рассеяния их радиоактивных материалов при внезапном прорыве оползневой дамбы укрепить низовые откосы удерживающих дамб этих хвостохранилищ мощной каменной наброской с одновременным обустройством грунтового покрытия на поверхности хвостохранилищ мощностью до 1 м и новой автодороги.

**Ключевые слова:** оползневая опасность, хвостохранилище, геофизические исследования, дамба, запруда, селевой поток, размыв, радиоактивные хвостохранилища, паводок.

**Annotation.** The article considers the results of geophysical studies to assess the risks associated with the possible repeated displacement of the Koy-Tash landslide in the Mailuu-Suu river. Long-term doses, according to experts of VISUTEK (Germany) for the population due to the spread of radioactive tails, can be up to 20 mSv / year. It is recommended that in order to prevent the destruction of tailing dumps No. 5.7 and the dispersion of their radioactive materials during a sudden breakdown of a landslide dam, the lower slopes of the retaining dams of these tailing dumps should be strengthened with a powerful stone draft with the simultaneous arrangement of soil cover on the surface of tailings with a capacity of up to 1 m and a new road.

**Key words:** landslide hazard, tailings, geophysical studies, dam, dam, mudflow, erosion, radioactive tailings, flood.

**Введение.** В докладе рассмотрены результаты исследований, выполненных для оценки рисков, связанных с возможным повторным смещением оползня Кой-Таш, высокой вероятностью блокирования долины реки Майлы-Суу оползневой дамбой и подтопления урановых хвостохранилищ №5,7. Исследования оползня включали в себя геоэлектрическую резистивную томографию оползнеопасного склона после его активизации в 2017 г., расчёты устойчивости и оценку зоны поражения.

**Методика.** Полевые геофизические, геотехнические измерения, ГИС обработка данных, моделирование прорыва дамб и затопления территорий.

**Результаты исследований.** Главным негативным фактором, обуславливающим потенциально опасную экологическую ситуацию на территории бывшего уранового рудника в Майлуу-Суу, является высокая подверженность оползневым процессам участков размещения радиоактивных отходов: отвалов и хвостохранилищ. Наиболее угрожающая ситуация в настоящее время складывается на участке оползня Кой-Таш (рис. 1), частичная разгрузка которого с блокированием русла р. Майлы-Суу произошла при очередной массовой активизации оползней в предгорьях Ферганской долины многоводной весной 2017 г [1].

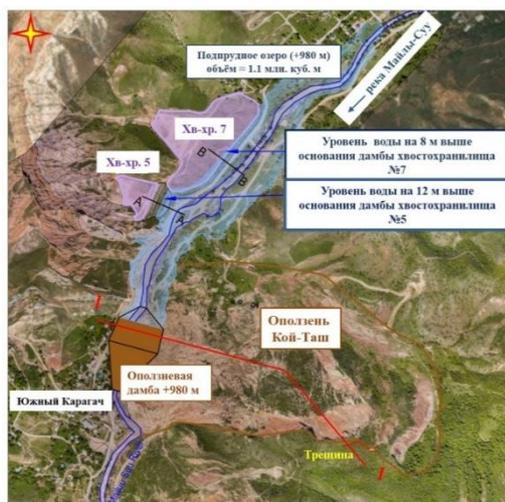


Рис.1. Оползень Кой-Таш (коричневый контур) на левом борту долины реки Майлы-Суу, напротив урановых хвостохранилищ №№5,7; красная линия I-I – генеральный профиль склона для расчётов устойчивости показан на рис. 2

Как известно, развитие оползней в узких долинах горных рек часто приводит к образованию оползневых дамб, подпруживанию рек и быстрому накоплению больших объёмов воды, затоплению обширных участков русла и/или поймы. При прорыве таких обвально-оползневых запруд часто возникает мощная гидродинамическая волна, которая стремительно устремляется вниз по течению в виде паводка или разрушительного селевого потока. Подобные синергетические эффекты оползней особенно опасны в тех случаях, когда в зону риска и уязвимости как самих оползней, так и вызванных ими опасных процессов, и явлений попадают хранилища радиоактивных отходов, как это неоднократно имело место в среднем течении реки Майлы-Суу [2].

Так, при сходе оползневых масс общим объёмом свыше 2 млн. м<sup>3</sup>, начавшимся на участке Кой-Таш 22 апреля 2017 г., русло р. Майлы-Суу почти на сутки было заблокировано оползневой дамбой протяжённостью свыше 400 м и высотой до 10 м (рис. 2). Общий объём воды, скопившейся выше оползневой плотины и подтопившей основания дамб хвостохранилищ №№5,7, расположенных на противоположном берегу, составил до начала размыва дамбы около 0.8 млн. м<sup>3</sup>.

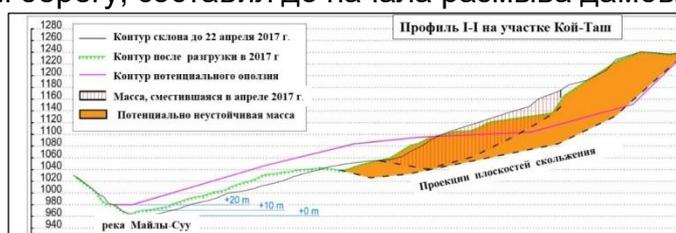


Рис.2. Профиль склона I-I на участке Кой-Таш до и после смещения в апреле 2017 г.; жёлтой заливкой показано возможное повторное обрушение масс

Основной причиной смещения оползневых масс на участке Кой-Таш стало сильное поверхностное и подземное увлажнение склона за счёт аномально большого количества осадков, выпавших зимой и весной 2017 г. По данным наблюдений на гидрометеорологической станции «Ак-Терек», расположенной в 25 км восточнее Майлуу-Суу, в рассматриваемом районе выпало 310 мм осадков, что более, чем в 2 раза превышает среднемесячное количество осадков в апреле, составлявшее в 2008-2016 гг. 142 мм/месяц. Примечательно, что только за 21-22 апреля 2017 г., то есть непосредственно перед сходом оползня выпало 64 мм осадков, что более, чем в 10 раз превышает средний уро-

вень суточного осадконакопления апреля месяца. Рекордное количество атмосферных осадков в апреле 2017 г. сопровождалось повышенным уровнем и расходом воды в реке Майлы-Суу, что в свою очередь обусловило сильный подмыв основания склона Кой-Таш.

Не исключено, что спусковым крючком гравитационного смещения масс на участке Кой-Таш 22 апреля 2017 г. послужили сейсмические события. Так, 17 апреля 2017 г., то есть за 5 дней до схода оползня Кой-Таш произошло сильное Гиндукушское землетрясение с магнитудой  $M=5.4$ , которое спровоцировало серию землетрясений на Тянь-Шане: после этого Гиндукушского землетрясения, 19 апреля в <sup>156</sup> было зафиксировано землетрясение с  $M=4.2$  с эпицентром в Жекенди (Карамык). Расстояние от эпицентра этого сейсмического события до оползня Кой-Таш составляло -200 км. Затем 21 апреля 2017 г. в <sup>655</sup> произошло землетрясение с  $M=4.5$  на расстоянии 240 км от оползня Кой-Таш.

Геофизические исследования оползня Кой-Таш, выполненные нами осенью 2018 г., позволили установить, что в настоящее время объём неустойчивой части склона составляет около 4 млн. м<sup>3</sup> (рис.3с, 3d). Нарастание объёма неустойчивых грунтов, а также пониженное значение запаса устойчивости склона по сравнению с 2017 г. можно объяснить следующими причинами:

- из-за наличия серии трещин в верхней части потенциально неустойчивого участка склона (рис.2) состояние и структура массива грунтов и пород хуже, чем до обрушения склона в 2017 г. К тому же вероятность повторного смещения неустойчивых масс усугубляет отсутствие механического упора в средней части склона (рис.2);

- геотехнические характеристики пород сместившейся массы оползня намного ниже по сравнению с прочностными характеристиками до разгрузки (схода) оползня в апреле 2017 г., что обуславливает снижение запаса устойчивости.

В случае повторной разгрузки оползня Кой-Таш и возможного оползневого блокирования русла р. Майлы-Суу хвостохранилища №5,7, расположенные на правом берегу, могут оказаться затопленными на определённый конечный промежуток времени (рис.1). По расчётам весьма вероятно повторное обрушение склона объёмом около 4 млн. м<sup>3</sup>, в результате которого русло р. Майлы-Суу будет заблокировано оползневой дамбой протяжённостью по руслу около 400 м и высотой до 20 м. Это может вызвать формирование в верхнем бьефе оползневой дамбы подпруженного водоёма объёмом около 1.1 млн. м<sup>3</sup> с подъёмом уровня воды на 12 м выше основания дамбы хвостохранилища №5 и на 8 м выше основания дамбы хвостохранилища №7.

В результате размыва оползневой дамбы, например, за счёт перелива, возможно формирование гидродинамической волны прорыва из подпруженного водоёма. В разрушительное движение этого стремительного потока могут быть вовлечены сильно увлажнённые мелкодисперсные материалы хвостохранилищ №5,7 общим объёмом до 1 млн. м<sup>3</sup>. Очевидно, что подобный селевой поток может вызвать радиоактивное загрязнение донных отложений и поймы реки Майлы-Суу в полосе до 15 м по обоим берегам. В конечном итоге высокий риск гидродинамической волны прорыва оползневой дамбы на рассматриваемом участке оползня Кой-Таш и хвостохранилищ №5,7 может трансформироваться в трансграничное радиоактивное загрязнение конуса выноса р. Майды-Суу на территории соседнего Узбекистана.

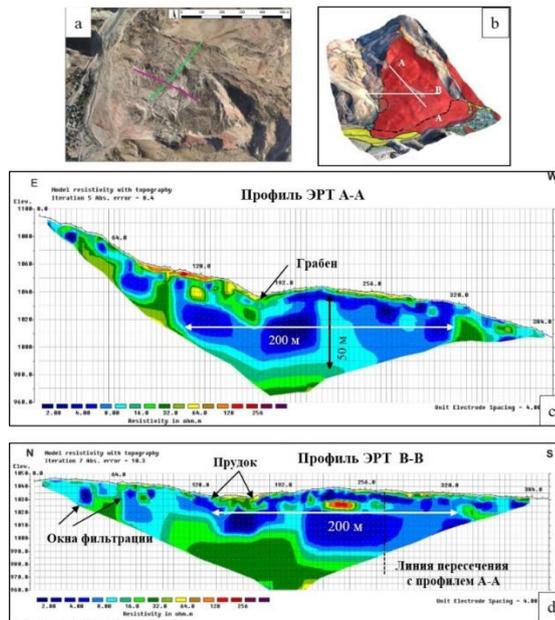


Рис.3. Геоэлектрические разрезы ЭРТ на участке оползня Кой-Таш: а,б) положение профилей ЭРТ на склоне; с) продольный профиль А-А; д) поперечный профиль В-В; стрелками показаны размеры смещённой части грунта

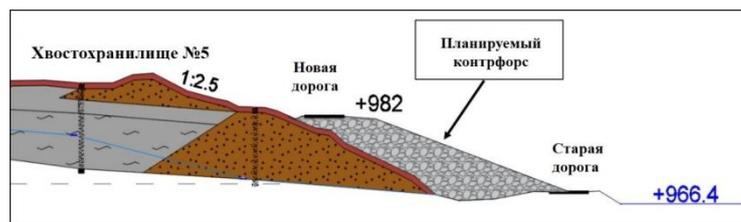


Рис.4. Каменная наброска на низовом откосе дамбы хвостохранилища №5

## Выводы

1. По оценкам специалистов компании ВИСУТЕК (Германия) долгосрочные дозы для населения из-за распространения радиоактивных хвостов могут составить до 20 мЗв/год.
2. В целях предотвращения разрушения хвостохранилищ №5,7 и рассеяния их радиоактивных материалов при внезапном прорыве оползневой дамбы рекомендуется укрепить низовые откосы удерживающих дамб этих хвостохранилищ мощной каменной наброской с одновременным обустройством грунтового покрытия на поверхности хвостохранилищ мощностью до 1 м и новой автодороги (рис.4).

## Литература

1. Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г. Достоверность прогнозов развития и оценок рисков оползня на участке Кой-Таш в Майлуу-Суу (Кыргызстан) // Материалы Международной научно-технической конференции «Влияние природных глобальных изменений и техногенных условий на гидрогеологические, инженерно-геологические и геоэкологические процессы: анализ результатов и прогнозирование развития». – Ташкент: ГП «Гидроингео», 2018. – с. 158-161.
2. Алешин Ю.Г., Торгоев И.А., Коваленко Д.Н. Синергетические эффекты в сценариях разрушения урановых хвостохранилищ Майлуу-Суу. Материалы Всероссийской конференции «РИСК – 2003» - Москва, 2003 г. Том I. С. 315 – 319.



## ОПОЛЗНЕВОЙ РИСК В УРОЧИЩЕ КУЛЬМЕН-САЙ (МАЙЛУУ-СУУ)

*Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г.*

## A LANDSLIDE RISK IN THE KULMEN-SAI NATURAL BOUNDARY (MAYLUU-SUU)

*Torgoev I.A., Alyoshin Yu.G.*

**Аннотация.** В документе рассматривается ситуация с оползнями в ущелье Кульмен-Сай в Майлуу-Суу и оценивается риск оползней для урановых хвостов № 11. Хранилище радиоактивных отходов по стандартам и нормативным требованиям МАГАТЭ на поверхности Земли считается надёжным в том случае, если оно способно противостоять воздействию экстремальных факторов окружающей среды и стихийных бедствий в течение длительного периода времени до 1000 лет. Оползень Кульмен-Сай в случае с участком хвостохранилища №11 прогнозируется, что может разгрузиться в ближайшие 50-100 лет и, поэтому этот участок не подходит для складирования радиоактивных «хвостов» с учётом требований и стандартов МАГАТЭ.

**Ключевые слова:** оползень, хвостохранилище, геофизические исследования, риск, угрозы, хвостохранилище, радиоактивные отходы, реабилитация, урановые рудники.

**Annotation.** The document examines the situation with landslides in the Kulmen-Sai Gorge in Mailuu-Suu and assesses the risk of landslides for uranium tails No. 11. According to the IAEA standards and regulatory requirements, the radioactive waste storage facility on the Earth's surface is considered reliable if it can withstand the effects of extreme factors. environment and natural disasters over a long period of time up to 1000 years. The Kulmen-Sai landslide in the case of the tailing site No. 11 is predicted to be unloaded in the next 50-100 years and, therefore, this site is not suitable for storing radioactive "tails" taking into account the requirements and standards of the IAEA.

**Key words:** Key words: landslide, tailing dump, geophysical surveys, risk, threats, radioactive waste, rehabilitation, uranium mines.

**Введение.** В настоящее время в Кыргызстане реализуется проект «Оценка воздействия на окружающую среду и технико-экономическое обоснование безопасного управления и рекультивации комплекса объектов наследия уранового производства в Майлуу-Суу».

**Методы.** Работы по реабилитации многочисленных объектов уранового рудника, расположенных на оползнеопасной территории в долине реки Майлы-Суу, предусматривают перенос некоторых хвостохранилищ из долины р. Майлы-Суу на безопасные участки, характеризующиеся приемлемым риском от возможных оползней, селей и эрозии.

**Результаты исследований.** Международные эксперты-геотехники предложили использовать для складирования переносимых «хвостов» площадки хвостохранилищ №11 и №15, расположенные в урочище Кульмен-Сай, в стороне от города. По их мнению эти хвостохранилища не подвержены факторам оползневого, риска, характерного для рассматриваемого района. Между тем, результаты наших исследований, выполненных в Кульмен-Сае в разные годы, а также данные мониторинга с применением радар-интерферометрии за 2015-2018 гг. свидетельствуют о том, что участок хвостохранилища №11, окружённый древними и современными оползнями, характеризуется неприемлемым оползневым риском с точки зрения складирования на нём радиоактивных отходов. В настоящей статье даётся краткое описание оползневой ситуации в урочище Кульмен-Сай с оценкой оползневой угрозы для хвостохранилища №11.

На правобережном склоне ручья Кульмен-Сай имеются современные оползни (Техникум, Змеиный и др.), которые сформировались в 1953-1954 гг. в телах крупных древнеоползневых очагов (рис.1). Эти оползни, имеющие своим базисом разгрузки долину ручья Кульмен-Сай (правого притока р. Майлы-Суу), придают склону типичный оползневой рельеф, характеризующийся чередованием оползневых депрессий, межоползневых гребней и выположенных площадок с разделяющими их склонами различной крутизны [1].

В настоящее время наибольшую угрозу для хвостохранилища №11 (рис.1) представляет оползень «Кульмен-Сай», сформировавшийся в приводораздельной части склона (рис.1), где в 1994 г. при очередной массовой активизации оползней образовались протяжённые трещины отрыва, а ниже их были зафиксированы пластические деформации поверхности и просадки, при этом были повреждены четыре опоры ЛЭП-35 кВ.



Рис.1. Современные оползни (коричневые контуры) и хвостохранилища (красная заливка) в урочище Кульмен-Сай

Для оценки оползневой риска на участке Кульмен-Сай и хвостохранилища №11 Научно-инженерным центром «ГЕОПРИБОР» был выполнен комплекс научно-исследовательских работ, включавший: геофизические исследования с использованием электрорезистивной томографии (ЭРТ) и сейсмотомографии по методу преломленных волн (МПВ) с построением двумерных геоэлектрических (рис.2а) и геосейсмических (2б) разрезов оползневой тела; а также геотехнические изыскания с целью определения физико-механических свойств и состояния грунтов на оползнеопасном участке для оценки устойчивости [1].

Как видно на рис. 2а геоэлектрический разрез характеризует типичные условия формирования и активизации современных оползней в Майлуу-Суу. Приводораздельную часть склона (абсолютные отметки 1480-1500 м) подпирает мощный зуб пластов известняка с удельным электрическим сопротивлением (УЭС) свыше 1000 Ом·м, из-под пластов известняка выклиниваются подземные воды, переводящие глинистые и рыхлые отложения в текуче-пластическое состояние. Здесь на отметках дневной поверхности 1460 м формируется мощная зона просадки и поверхностный слой склона мощностью около 10 м на протяжении более 300 м постепенно смещается вниз, в направлении на юго-запад. Плоскостью скольжения оползня на этом участке являются третичные глины, обладающие УЭС 2~5 Ом·м [1].

На рис. 2б представлен геосейсмический разрез по профилю Sz1, который в целом подобен геоэлектрическому разрезу Vz1.

Из представленных на рис. 2 геофизических разрезов массива горных пород, слагающих рассматриваемый склон следует, что возможное развитие оползневой процесса наиболее вероятно может быть приурочено к высотным отметкам 1428...1390 м, где плоскость скольжения формируется на глубине от 8 до 12 м от дневной поверхности в породах глинистых рыхлых отложений  $dpQ_{IV}$ , обогащенных блоками и щебнем песчаника палеогена.

Общая протяженность оползневого очага составляет ~ 80...100 м. Не следует также исключать возможность оползневой разгрузки склона по частям: вначале на участке с отметками дневной поверхности 1389...1411 м, затем 1411...1428 м. По всей видимости, этот процесс практически будет протекать одновременно.

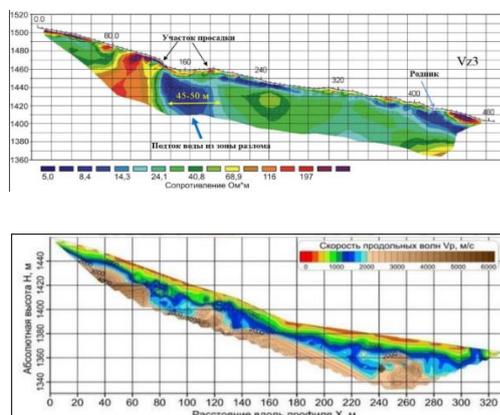


Рис. 2. Геофизические разрезы на оползне Кульмен-Сай: а) электротомограмма (ЭРТ) по профилю 3-3; б) сейсотомограмма МПВ по этому же профилю

Совместный анализ результатов геофизических исследований и геотехнических изысканий показал, что в приводораздельной части склона сосредоточены разрыхленные массы глинистого грунта с большим содержанием крупных блоков и глыб, которые подпираются с юга мощными пакетами смещенных пластов верхнего мела. Поэтому весь склон Кульмен-Сай, начиная с верхних его отметок ~ 1400...1470 м, где проявилась трещина отседания, может быть захвачен целиком оползневым смещением только при повторном смещении всего древнего оползня в целом или при оползании значительных блоков или пакетов верхнего мела, слагающих центральную и южную части склона.

Устойчивость такой грандиозной геологической структуры определяется сопротивлением сдвигу пород, слагающих тело древнего оползня, а возможно и коренных пород верхнего мела на значительной глубине, гораздо ниже зоны выветривания. Наиболее слабыми породами в телах древних оползней Кульмен-Сая, а также коренных пород (верхнего мела) являются глины, которые встречаются в виде слоев мощностью до 7...10 м в массивах палеогена и мела, а также в значительной мере являются заполнителем трещин и промежутков между раздробленными и смещенными блоками скальных и полускальных пород в телах древних оползней. В северной части участка у подножья приводораздельного уступа мощность глинистых отложений вместе с глыбами известняка и песчаника может достигать 30 м. К этим глинистым породам приурочены оползневые смещения в области развития мела и палеогена. В период отработки Майлисайского уранового месторождения, после того как осенью 1953 г. были зафиксированы первые современные оползни на древнеоползневом склоне Кульмен-Сай, маркшейдерской службой предприятия п/я 200 были начаты геодезические инструментальные наблюдения за смещениями поверхности рассматриваемого склона по сети геодезических триангуляционных пунктов.

По данным маркшейдерских наблюдений в период 1950-1964 гг. фиксировались медленные смещения отдельных участков склона в интервале скоростей 2.5 ~ 5.0 см/год по направлению падения склона, на юг-юго-запад (в сторону устья ручья Кульмен-Сай).

Такие относительно медленные смещения обусловлены ползучестью (крипом) неустойчивых горных пород, смещающихся по пластам или пропласткам глинистых отложений. По данным мониторинга рассматриваемого участка

Майлуу-Суу с помощью радар-интерферометрии специалистами фирмы GeoConsult (Австрия) было установлено, что за 2018 г. смещение поверхности правобережного склона Кульмен-Сай составило 2.5 см (рис. 3).

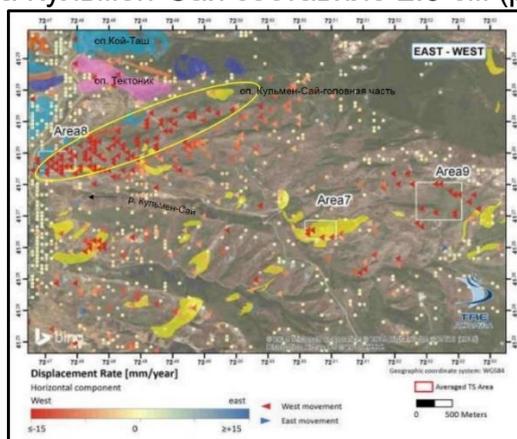


Рис. 3. Результаты мониторинга смещений в Майлуу-Суу за период 2015-2018 гг. по данным радар-интерферометрии: жёлтым эллипсом показан правобережный склон Кульмен-Сая; красные треугольники-смещение в западном направлении

Это ещё раз свидетельствует о непрекращающейся оползневой (геодинамической) активности, которая рано или поздно может обернуться разгрузкой оползня Кой-Таш в сторону хвостохранилища №11.

Численная оценка показателей зоны оползневого поражения осуществлялась нами с использованием модели, описывающей движение оползня в гидродинамическом приближении в постановке С.С. Григоряна. Задача решалась для ряда вариантов, различающихся комбинацией численных значений физико-механических характеристик оползневого тела и поверхности зоны транзита.

В результате моделирования было установлено, что при наиболее вероятных сценариях развития катастрофической фазы (имея ввиду, что потеря устойчивости склона может произойти в наиболее влажный период года), большая часть оползневых масс разгрузится на участке склона с абсолютными отметками 1340...1360 м, хотя маломощные обводненные языки оползня могут быть перехвачены двумя поперечно-диагональными саями склона и транспортированы на расстоянии до 600...1000 м.

### Выводы

1. По стандартам и нормативным требованиям МАГАТЭ хранилище радиоактивных отходов на поверхности Земли считается надёжным в том случае, если оно способно противостоять воздействию экстремальных факторов окружающей среды и стихийных бедствий в течение длительного периода времени (до 1000 лет).

2. В случае с участком хвостохранилища №11 прогнозируется, что оползень Кульмен-Сай может разгрузиться в ближайшие 50-100 лет и, поэтому этот участок не подходит для складирования радиоактивных «хвостов» с учётом требований и стандартов МАГАТЭ.

### Литература

1. Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г., Лосев В.А. Хавенит Х.Б. Мониторинг оползневых процессов на урбанизированных территориях Кыргызстана // Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий / Материалы Международного симпозиума. – Екатеринбург. Изд-во «Аква-Пресс». 2001 – Том I. – с. 385 – 392.



**РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В  
СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КУРАЙСКОЙ ВПАДИНЫ (КУРАЙСКАЯ ЗОНА РАЗЛОМОВ,  
ГОРНЫЙ АЛТАЙ)**

*Турова И.В., Деев Е.В., Позднякова Н.И.*

**RESULTS OF PALEOSEISMOLOGICAL RESEARCHES IN THE NORTHERN  
PART OF THE KURAI DEPRESS (KURAI Fault ZONE, MOUNTAIN ALTAI)**

*Turova I.V., Deev E.V., Pozdnyakova N.I.*

**Аннотация.** Палеосейсмологические исследования указывают на активный рост форберговых поднятий в северной части Курайской впадины с преимущественным надвиганием и смещением их северной границы в сторону Курайского хребта. Морфологические признаки и структурное положение северного уступа указывают, что он является более молодым, чем южный уступ. Выявленные при анализе траншеи Курайская-4 палеоземлетрясения имеют возраст моложе 6500 лет. В результате траншейных исследований разломных обрывов в северной части бассейна Курай (зона разлома Курай) было показано, что в голоцене произошло 4 палео землетрясения (3 из которых за последние 6,5 тыс. Лет) с  $M_w = 6,4-7,1$  и  $I = 8-9$ . Эти результаты следует учитывать при проектировании газопровода в Китайской Народной Республике.

**Ключевые слова:** обрыв разлома, сильное палео землетрясение, траншеи, Курайская зона разлома, Горный Алтай, разломы, тренчинг.

**Annotation.** Paleoseismological studies indicate an active growth of forberg uplifts in the northern part of the Kurai depression with a predominant thrust and displacement of their northern border towards the Kurai ridge. The morphological features and structural position of the northern ledge indicate that it is younger than the southern ledge. Paleo-earthquakes revealed during the analysis of the Kuraiskaya-4 trench are younger than 6500 years old. As a result of trench studies of faults in the northern part of the Kurai basin (Kurai fault zone), it was shown that 4 paleo-earthquakes occurred in the Holocene (3 of which over the past 6.5 thousand years) with  $M_w = 6.4-7.1$  and  $I = 8-9$ . These results should be considered when designing a gas pipeline in the People's Republic of China.

**Keywords:** fault scarp, large paleoearthquake, trenching, Kurai fault zone, Gorny Altai, faults, trenching.

**Введение и постановка проблемы.** Курайская зона разломов – одна из ключевых структур Юго-Восточного Алтая. Ее протяженность достигает 130 км, а ширина - 20 км. На неотектоническом этапе она контролирует положение северных активных окраин двух крупных внутригорных впадин – Чуйской и Курайской. Исследуемый район является территорией постоянного проживания и хозяйственной деятельности человека.

Интенсивное возведение здесь объектов туристической инфраструктуры, возможное строительство сети малых ГЭС, а также прокладка магистрального газопровода в КНР, делают актуальными и практически востребованными новые комплексные исследования, направленные на оценку сейсмического режима и сейсмической опасности территории.

В регионах с очень ограниченными историческими и инструментальными сейсмологическими сведениями только палеосейсмологические исследования остаются единственным надежным источником информации о максимально возможных магнитудах и периоде повторяемости сильных землетрясений.

За период сейсмологических наблюдений Курайская зона разломов проявила себя как относительно слабосейсмичная структура, для которой характерны землетрясения с  $M \leq 5$ . Но так ли это на самом деле?

Полученные нами в последние годы палеосейсмологические данные говорят о более сильной палеосейсмичности Курайской зоны разломов [1-3]. Это подтверждают и результаты новых тренчинговых исследований в северной части Курайской впадины. Их результаты приведены ниже.

**Методика исследований.** При палеосейсмологических исследованиях в северной части Курайской впадины проводилось дешифрирование космических снимков высокого разрешения, доступных в программе Google Earth, на которых были выделены перспективные участки для полевых исследований – разломные уступы и их сегменты, являющиеся поверхностными разрывами сильных палеоземлетрясений.

Во время полевых исследований производилось детальное картирование морфологии разломных уступов (высоты, протяженности, сегментации), в том числе с использованием современных систем GPS.

Внутренняя структура разломных уступов изучалась в искусственных горных выработках – траншеях и канавах.

При изучении стенок траншей производилось детальное поквдратное ( $1 \times 1$  м или  $0.5 \times 0.5$  м) картирование разрезов.

Фиксировались элементы слоистой структуры (для слоев определялись текстурно-структурные характеристики и генезис), нарушающие их разломы, трещины, складки.

Определялись отложения, слагающие крылья разломов, коллювиальные клинья, образующиеся при разрушении поднятых крыльев, элементы залегания разломных плоскостей, типы и амплитуды смещений по разломам.

Наличие нескольких генераций разломов, срезающихся или перекрывающихся разновозрастными отложениями и/или разновозрастных коллювиальных клиньев и палеопочв, позволило восстанавливать несколько сейсмических подвижек. Выявленные параметры сейсмогенных разрывов позволили оценить магнитуды и интенсивность древних землетрясений с помощью эмпирических зависимостей из [4].

Изучение палеосейсмодислокаций сопровождалось отбором образцов для их AMS<sup>14</sup>C определения абсолютного возраста.

**Результаты исследований.** В северной части Курайской впадины выявлено два разломных уступа. Оба уступа простираются субпараллельно по азимуту  $110^\circ$  между долинами рр. Курайка и Кызылташ, на расстоянии 100 м друг от друга. Уступы трассируют положение активного разлома, являющегося смыкающим сегментом между двумя форберговыми поднятиями в северной части Курайской впадины.

Эти форберги отделяют Акташский рамп от остальной части Курайской впадины. Уступы секут средне-позднеплейстоценовые пролювиальные конуса выноса, долины рр. Курайка и Кызылташ и, в тоже время, пререзаются антецедентными участками долин этих рек.

Поймы рек перед уступом расширяются, а пойма р. Кызылташ представляет собой заболоченное пространство. Полевое изучение уступов показало, что более южный из них характеризуется высотой от 2 до 5.5 м и протяженностью 1.8 км, северный – высотой 1.5 м и протяженностью 1 км.

**Южный уступ.** В западной части южного разломного уступа пройдена траншея Курайская-1 протяженностью 10 м и глубиной 2 м [2].

В западной стенке траншеи вскрыты серые пролювиальные субгоризонтально- и полого-линзовидно-слоистые валунные галечники (слои 1 и 3, мощность более 0.8 и 0.8 м) и массивные гравийники (слои 2 и 4, мощность 0.15 и 0.1 м). Залегание слоев 3 и 4 нарушено падающим на юг сейсмогенным взбросом с амплитудой смещения 1.2 м.

В висячем крыле взброса слои 1-4 собраны в приразломную складку. Кроме того, в висячем крыле наблюдаются две клиновидные структуры растяжения, пересекающие слои 1-4.

Структуры растяжения выполнены серым массивным валунным галечником с фрагментами слабогумуссированных алевролитистых песков (слой 5, мощность более 1.5 м).

Слой представляет собой коллювиальный клин, сложенный переотложенным материалом слоев 1-4. Он также срезает взброс и отложения слоев 3 и 4 во фронте уступа.

В понижении в кровле слоя 5 выделен маломощный прослой гумуссированной супеси (слой 6, мощность 0.2 м), которая представляет собой делювий, участвующий в строении коллювиального клина.

Завершают разрез траншеи делювиальный карбонатизированный гравийник (слой 7, мощность 0.15 м) - верхняя часть коллювиального клина и современная почва (слой 8).

Амплитуда смещения по взбросу позволила оценить моментную магнитуду палеоземлетрясения -  $M_w = 6.7 \div 7.0$ , что соответствует  $I = 8-9$  баллов по шкале MSK-64.

С целью определения возраста верхней возрастной границы древнего землетрясения, в результате которого сформировался взброс, сопутствующие ему приразломная складка и структуры растяжения в висячем крыле, был отобран образец гумуссированной супеси из слоя 6. AMS  $^{14}C$  возраст образца составил  $5487 \pm 71$  лет (UGAMS-27118), калиброванный возраст – 6440 – 6175 лет назад, т.е. само землетрясение произошло около 6500 лет назад.

В восточной части южного разломного уступа пройдена траншея Курайская-2 протяженностью 7 м и глубиной 2.5 м.

В северо-западной стенке траншеи вскрывается пролювиальный коричнево-серый плохо сортированный валунный щебне-галечник с песчано-дресвяным заполнителем (слой 1, видимая мощность 1.8 м).

Наблюдается грубая неявная линзовидная слоистость, падающая в сторону горного склона. Залегание слоя 1 нарушено крутонаклонным сбросом F2, по которому фронтальная часть висячего крыла разлома F1 обрушилась на его лежащее крыло.

Реконструкция положения обрушившейся части висячего крыла позволила определить положение и кинематику разлома F1 – это падающий под углом  $65^\circ$  на юг взброс.

Амплитуда смещения вдоль линии падения разломной плоскости F1 составляла 1.2 м. Слой 1 перекрывается коричнево-серым массивным валунным щебне-галечником с песчано-дресвяным заполнителем (слой 2, мощность 0.5 м). Слой представляет собой коллювиальный клин. Отложения слоев 1-2, в свою очередь, смещаются падающим на юг взбросом F3.

Амплитуда смещения вдоль линии падения его разломной плоскости составила 1.8 м.

Взброс F3, слои 1 и 2 срезаются и перекрываются отложениями слоя 3 - коричнево-серый массивный щебенник с отдельными гальками и песчано-дресвяным заполнителем (нижняя часть коллювиального клина, мощность до 0.6 м). Выше залегает светло-коричневая линзовидно-слоистая слабо гумусированная супесь с включениями галек и щебня (слой 4, мощность 0,3 м, верхняя часть коллювиального клина).

Разрез завершает современная почва (слой 5, мощность до 0.4 м).

Таким образом, в стенках траншеи Курайка-2 можно выделить следы двух палеоземлетрясений. Первому сейсмическому событию соответствует разлом F1. Амплитуда взбросового смещения в 1.2 м позволяет оценить моментную магнитуду палеособытия как  $M_w = 6.7-7.0$ .

В результате разрушения висячего крыла взброса сформировался сброс F2 и коллювиальный клин – слой 2. Более молодому палеоземлетрясению соответствует взброс F3. Амплитуда смещения по нему составила 1.8 м, что соответствует  $M_w = 6.8-7.1$ .

Возраст этого палеоземлетрясения мы коррелируем с сейсмическим событием, выявленным в траншее Курайская-1, т.е. оно произошло около 6500 лет назад [2]. Соответственно возраст более древнего палеоземлетрясения оценен как голоценовый.

**Северный уступ.** Через северный разломный уступ, в его центральной части, пройдена траншея Курайская-4 протяженностью 12 м и глубиной до 1.5 м. В северо-западной стенке траншеи вскрывается серый пролювиальный валунно-галечник с отдельными глыбами до 1 м, заполнитель представлен песко-дресвяником, мелкой галькой и щебнем (слой 1, видимая мощность 1.2 м). Слой 1 нарушен падающим на юг под углом  $45^\circ$  взбросом F1, который выявлен в южной части траншеи. Амплитуда смещения вдоль линии падения разломной плоскости составила не менее 1.4 м.

Выше залегают серый массивный валунно-галечник с песко-дресвяным заполнителем (слой 2, мощностью до 0.6 м, нижняя часть коллювиального клина) и светло-серый галечно-щебенник с супесчаным заполнителем и неявной линзовидной слоистостью (слой 3, мощность до 0.6 м, верхняя часть коллювиального клина).

Целостность слоев 1-3 нарушают разломы F2-F7. F2 и F3 – взбросы, расположенные в центральной части траншеи.

Плоскости разломов погружаются на юг под углом  $45^\circ$ . Амплитуды смещения вдоль разломных плоскостей F2 и F3 составили 0.4 и 0.3 м соответственно. F4 и F5 – крутопадающие взбросы, расположенные в северной части траншеи. В своей верхней части разлом F4 переходит в клиновидную структуру растяжения. Амплитуда смещения вдоль F4 составила 0.1 м, вдоль F5 – не менее 0.3 м. F6 и F7 – сбросы, расположенные в южной части траншеи.

Разломные плоскости падают на север под углами  $70^\circ$  и  $80^\circ$  соответственно. Амплитуда смещения вдоль разломной плоскости F6 составила 0.4 м, F7 – 0.1 м. Слой 4 является следующим коллювиальным клином и сложен галечно-щебенником с темно-коричневым песчаным заполнителем видимой мощностью более 0.7 м.

Он срезает отложения слоев 2 и 3, разломные плоскости F2 и F3, выполняет клиновидную структуру растяжения, связанную с разломом F4. Слой 4, в свою очередь, совместно со слоем 2 нарушены сбросом F8, плоскость сместителя которого падает на север.

Со сбросами F6-F8 связаны клиновидные структуры растяжения, заполненные отложениями слоя 5. Он представлен черно-коричневой гумусированной супесью с включениями щебня и гальки. Его мощность достигает 0.7 м. Разрез завершается современной почвой (слой 6) мощностью до 0.3 м.

Интерпретация полученных в траншее Курайская-4 материалов позволяет выделить два палеоземлетрясения.

Наиболее древнему землетрясению соответствует взброс F1. Амплитуда смещения по линии падения взброса в 1.4 м дает возможность оценить минимальную моментную магнитуду этого землетрясения  $M_w = 6.7-7.0$ , интенсивность  $I = 8-9$  баллов. При разрушении висячего крыла взброса сформировались отложения слоев 2 и 3.

Следующее землетрясение было связано с подвижкой по взбросам F2 – F5. Величина смещения 0.4 м, характерная для взброса F2 позволяет условно оценить магнитуду 6.4.

Наличие нескольких взбросовых плоскостей может свидетельствовать о том, что помимо взбросовой сейсмогенная подвижка имела и сдвиговую составляющую.

Формирование сбросов F6-F8 и сопровождающих их клиновидных структур растяжения связано с гравитационным разрушением разломного уступа.

Морфологические признаки и структурное положение северного уступа позволяет нам предположить, что он является более молодым, чем южный уступ. Соответственно и выявленные при анализе траншеи Курайская-4 палеоземлетрясения имеют возраст моложе 6500 лет.

### **Выводы**

1. Результаты палеосейсмологических исследований указывают на активный рост форберговых поднятий в северной части Курайской впадины с преимущественным надвиганием и смещением их северной границы в сторону Курайского хребта.

2. В голоцене здесь произошло 4 палеоземлетрясения (3 из которых за последние 6500 лет) с  $M_w = 6.4-7.1$  и  $I = 8-9$  баллов.

### **Фондовая поддержка**

Палеосейсмологические исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов 18-35-00280 мол\_а, № 18-05-00389\_а. Радиоуглеродное датирование выполнено при финансовой поддержке проекта РНФ 19-17-00179.

### **Список литературы**

1. Деев Е.В. Неотектоника и палеосейсмичность внутригорных впадин северной части Центральной Азии (на примере Горного Алтая и Северного Тянь-Шаня). Автореф. дис. док. г.-м. наук. – Новосибирск: 2018. – 50 с.
2. Деев Е.В. Зоны концентрации древних и исторических землетрясений Горного Алтая // Физика Земли, 2019. № 3. С. 71-96
3. Deev E.V., Turova I.V., Borodovskiy A.P., Zolnikov I.D., Oleszczak L. Unknown large ancient earthquakes along the Kurai fault zone (Gorny Altai): new results of palaeoseismological and archaeoseismological studies // International Geology Review, 2017. V. 59. No. 3. P. 293–310.
4. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement // Bull. Seismol. Soc. Amer., 1994. V. 84. Is. 4. P. 974–1002.



# ВЫЯВЛЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА ГИДРОГЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЯХ ЮГО-ЗАПАДНОГО УЗБЕКИСТАНА

*Умурзаков Р.К.*

## IDENTIFICATION OF ANOMALOUS DISPLAYS OF MOLECULAR HYDROGEN IN HYDROGEOSEISMOLOGICAL FIELDS OF SOUTH -WESTERN UZBEKISTAN

*Umurzakov R.K.*

**Аннотация:** В данной статье изложены результаты режимных наблюдений за период 1993-2015 гг по выявлению аномальных проявлений молекулярного водорода гидрогеосейсмологических полях Юго-Западного Узбекистана и рассматриваются особенности изменения молекулярного водорода в подземных водах связанных с сейсмичностью. Аномальные проявления связаны с увеличением деформации в горных породах, что увеличивает выход захороненного молекулярного водорода в порах водосодержащих породах. Изменение напряженности приводит к усилению деформационных процессов в сейсмогенных зонах с возникновением сильного землетрясения. В периоды, предшествующие и сопутствующие сейсмической активности, наблюдаются аномальные проявления  $H_2$ .

**Ключевые слова:** молекулярный водород, аномалия, подземные воды, сейсмичность, водовмещающие породы, землетрясения, прогноз, сейсмическое затишье, гидрогеосейсмология.

**Abstract:** This article presents the results of operational observations for the period 1993-2015 to identify abnormal manifestations of molecular hydrogen in the hydrogeoseismological fields of southwestern Uzbekistan and discusses the features of changes in molecular hydrogen in groundwater associated with seismicity. Anomalous manifestations are associated with an increase in deformation in rocks, which increases the yield of buried molecular hydrogen in the pores of water-bearing rocks. A change in tension leads to an increase in deformation processes in seismogenic zones with the occurrence of a strong earthquake. In the periods preceding and accompanying seismic activity, anomalous manifestations of  $H_2$  are observed.

**Key words:** molecular hydrogen, anomaly, groundwater, seismicity, water-bearing rocks, earthquakes, forecast, seismic calm, hydrogeoseismology.

**Введение.** Землетрясения - это одни из самых страшных и разрушительных по своей мощи природных катастроф, подвергающие опасности сотни тысяч жизней. Примеров катастрофических землетрясений, повлекших за собой большие жертвы, очень много. Ученые-сейсмологи прилагают массу усилий для выявления алгоритма явлений, предшествующих землетрясению.

Поэтому перед наукой, сегодня стоит важная и неотложная задача по всестороннему углублению знание о процессах, вызывающих землетрясения, а также необходимость проведения дальнейших целенаправленных исследований по прогнозу сильных землетрясений.

Результаты анализа многолетних наблюдений газового состава на различных сеймотектонических и гидрогеологических условиях свидетельствует о некоторых особенностях распределения молекулярного водорода в подземных водах. Рассмотрим это распределение на примере: гидрогеосейсмологических полях Юго-Западного Узбекистана.

**Актуальность.** Водород – самый распространенный вселенский газ, он в больших количествах находится в недрах Земли [1].

**Методология.** С 70-х гг. прошлого столетия среди геологов стала широко известна гипотеза В.Н. Ларина [2] об изначально гидридном составе Земли как планеты, и что внутреннее ядро Земли состоит из гидридов металлов (железа и никеля), а внешнее – из металлов с растворенным в них водородом.

Гипотеза обосновывает наличие космической концентрации водорода в виде гидридов металлов в ядре Земли и постепенную дегазацию водорода из

мантии через земную кору в атмосферу. Несмотря на столь значительный временной отрезок, водород еще слабо изучен. Даже глубинные источники происхождения водорода и его геологическая роль в недрах планеты раскрываются пока только на уровне теоретических предположений. В силу своей активности в водных растворах водород играет важную роль в физико-химических процессах, происходящих в них.

Он образуется в результате различных радиационно-химических процессов, а также термо-каталитического разложения воды в условиях высоких температур на больших глубинах. Благодаря исключительной подвижности и аномально высокой теплоемкости, водород мигрирует через решетки минералов по микропорам, трещинам, обуславливая его повсеместное взаимодействие с компонентами пород. Миграцию глубинного водорода называют стержнем дегазации [3], так как, обладая наибольшей скоростью подъема, он обуславливает процессы метаморфизма и метасоматизма и появление в подземных водах верхних горизонтов земной коры.

В свободном состоянии водород встречается на Земле лишь в незначительных количествах. В основном он выделяется вместе с другими газами при вулканических извержениях; из буровых скважин при добыче нефти и газа. В многочисленных случаях, во время подготовки сейсмических событий отмечаются экстремальные концентрации газов в подземных водах, фиксируемые как предвестники землетрясений. В связи с этим изучение особенностей изменения молекулярного водорода в подземных водах является актуальным.

**Целью работ является** выявление аномальных проявлений молекулярного водорода гидрогеосейсмологических полях Юго-Западного Узбекистана.

Для достижения цели были: а) анализированы результаты многолетних наблюдений молекулярного водорода в подземных водах Сурхандарьинской области КПС «Шурчи» в скв. №8 за период 1993-2015 гг.; б) выявить аномальное проявлений молекулярного водорода перед сейсмической активностью.

**Результаты работ.** Многолетние наблюдения, результаты которых, изложены во многих научных трудах (Мавлянов и др. 1973; Султанходжаев и др. 1983; Султанходжаев, 2006; Юсупов и др. 2014; Чернов и др. 2016). Установлено, что все землетрясения с величиной  $M/IgR$  равной и более 2,5 вызывают аномальные изменения в режиме подземных вод.

Установлено, что физический процесс, вызывающий появление аномалий протекает в наблюдательном пункте примерно от 1 до 7 месяцев до землетрясения, что указывает на газохимический предвестник ( $H_2$ ) как на среднесрочный.

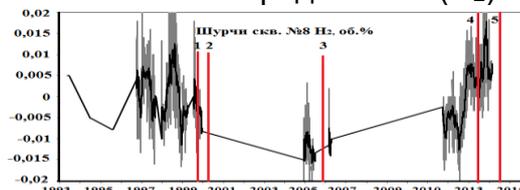


Рис 1. График изменения молекулярного водорода в скв. №8 за период 1993-2016 гг.

Это совпадает с мнениями многих авторов (Зимина Т. 2002; Гидрогеохимические особенности 1977; Моргунов В.А. 1999; Киссин И.Г. 2009; Копылова Г.Н. 2008 и др.). Систематические гидрогеосейсмологические наблюдения, проводимые Институтом сейсмологии в Сурхандарьинском участке подземных вод свидетельствует о том, что одним из наиболее перспективных методов наблюдения за упругих напряжений и характером деформации горных пород является постоянное наблюдение вариации газохимического состава подземных вод.

В настоящей работе рассмотрены в основном результаты обработки данных наблюдений характеризующихся повышенной сейсмической активностью

региона. За это время произошли много сильных ( $M > 5$ ) землетрясения, перед большинством из них зафиксированы аномальные вариации гидрогеосейсмологических параметров подземных вод. Выявленные аномалии имеют большое практическое значение для прогноза сильных землетрясений в регионе. Поэтому данные наблюдений на режимных водопрооявлениях полигонов детально проанализированы и сопоставлены с сейсмичностью и проведены статистическая оценка значимости и продолжительности гидрогеосейсмологических параметров перед землетрясениями. Результаты наблюдений за изменением молекулярного водорода в подземных водах проводились в скв. №8, прогностической станции «Шурчи» Сурхандарьинской области.

Глубина перфорации от 155 до 175 м и приурочена к четвертичным отложениям, где водовмещающими породами являются гравийно-галечники с прослоями песков. Расход самоизливающейся скважины составляет 6,0 л/с, минерализация 0,33 г/л.

Землетрясения: 1- Камаша 31.10.1999 г.,  $M=5.2$ ; 2- Камаша 20.04.2000 г.,  $M=5.5$ ; 3- Гиндикуш 14.11.2005 г.,  $M=7.0$ . 4- Маржанбулак 26.05.2013 г.,  $M=6.1$ ; 5- Гиндикуш 14.06.2014 г.,  $M=6.6$ ;

График изменения молекулярного водорода за период 1993-2016 г. можно условно разделить на три части по проявленным аномалиям. Первая - с 01.11.1996 г. по 01.11.1999 г., аномальное изменение молекулярного водорода возможно перед подготовкой довольно сильных землетрясений, с эпицентром в Камаша 31.10.1999 г. с  $M = 5.2$ ,  $R=140$  км;  $M/IgR = 2.42$ ; Камаша 20.04.2000 г.,  $M=5.5$ ,  $R=150$  км,  $M/IgR=2.53$ ;

Вторая - появлением его перед Гиндикушским землетрясением 14.11.2005 г.,  $M=7.0$ ,  $R=350$  км,  $M/IgR = 2.75$ ; с 02.02. 2005 г. по 01.07.2005 г. Третья - начиная 02.12.2011 г. по 15.04.2014 г. В этот период произошли Маржанбулакское землетрясение (26.05.2013г.,  $M=6.1$   $R=140$  км,  $M/IgR = 2.85$ ;) и серия Гиндикушских землетрясений (14.06.2014 г.,  $M=6.6$ ,  $R = 280$  км,  $M/IgR = 2.7$ .)

#### **Выводы**

1. Совокупность всех аномальных проявлений может быть объяснена тем, что в первую очередь, это увеличение деформации в горных породах, что привело к увеличению выхода захороненного молекулярного водорода в порах водосодержащих породах. Таким образом, изменение напряженности привело к усилению деформационных процессов в сейсмогенных зонах, которое завершилось возникновением сильного землетрясения;
2. Между аномальными значениями наблюдаются отсутствие молекулярного водорода в течение довольно длительного периода, с 1993 г. до 31.10. 1996 г., с 01.01.2000 г. по 01.02. 2005 г., с 02.07.2005 г. по 01.12.2011 г., что и совпадает с относительным сейсмическим затишьем в данном регионе.
3. В целом для исследуемых подземных вод характерно довольно низкое содержание (0,005-0,05 об. %) растворенного  $H_2$ , вплоть до его отсутствия. А в периоды, предшествующие и сопутствующие сейсмической активности, наблюдаются аномальные проявления  $H_2$ .

#### **Литература**

1. Вернадский В.И. Избранные сочинения. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – Т.IV. – Кн.2. – 651 с.
2. Ларин В.Н. Гипотеза изначально гидридной Земли (новая глобальная концепция). М.: Недр, 1975. -101 с.
3. Кропоткин П.Н., Валяев Б.И. Дегазация земли и геотектоника. Тезисы докл. IV симпозиума «Дегазация земли и геотектоника». М., «Наука» МОИП, 1976, с.3-11.
4. Султанходжаев А.Н. и др. Геохимические методы прогноза землетрясений, М; Наука 1992г., 213 с.
5. Семенов Р.М., Смекалин О.П. Сильные землетрясения на Байкале 27.08.2008г. и его предвестники. Геология и геофизика, 2011г., 52 том, №4, 521-528 с.  
УДК 624.131: 622.284.74 (574.3)

**КАТАСТРОФОВЕДЕНИЕ ПЛАНЕТОСФЕР ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ И  
КЫРГЫЗСТАНА**  
*Усупаев Ш. Э.*

**DISASTER OF PLANETOSPHERES OF CENTRAL ASIA AND KYRGYZSTAN**  
*Usupaev Sheishenaly*

**Аннотация.** В работе вследствие комплексного междисциплинарного системного исследования планетосфер региона Азии разработаны основы прикладных инновационных научных направлений: а. катастрофование (КСВ) и б. ноосферная инженерная геонимия (НИГ) для снижения воздействий георисков на население Кыргызстана и стран Центральной Азии. Приведены интегрированные КСВ и НИГ карты и их преобразования в латеральные по-широтные и вертикальные по-высотные геоним модели типизации и прогноза георисков природного, техногенного и экологического характера. За последние 5 лет развития ЦАИИЗ под руководством автора с 2015 по 2019 гг. защищены 3 докторских и 1 кандидатская диссертации. Изданы и внедрены более 120 научных трудов в практику предупреждения георисков и обучения в Кыргызстане, Таджикистане, Казахстане и Узбекистане, т.е. на территории стран Высокой и Центральной Азии.

**Ключевые слова:** катастрофование, геориски, инженерная геонимия, ноосфера, планетосферы, типизация, прогнозирование, опасность, мониторинг, диссертации, внедрения.

**Annotation.** Due to a comprehensive interdisciplinary systemic study of the planetospheres of the Asian region, the foundations of applied innovative research areas are developed: a. disaster management (SWR) and b. noospheric engineering geonomy (NIG) to reduce the impact of geo-risks on the population of Kyrgyzstan and the countries of Central Asia. Integrated SWR and NIG maps and their transformations into lateral latitudinal and vertical elevational geon-height models of typing and predicting geo-risks of natural, technogenic and environmental nature are presented. Over the past 5 years of development of CAIIZ under the guidance of the author from 2015 to 2019. 3 doctoral and 1 candidate dissertations are protected. Over 120 scientific papers have been published and introduced into practice of geo-risk prevention and training in Kyrgyzstan, Tajikistan, Kazakhstan and Uzbekistan, i.e. in the countries of High and Central Asia.

**Keywords:** disaster management, geo-risks, engineering geonomy, noosphere, planetosphere, typification, forecasting, danger, monitoring, dissertations, implementations.

**Введение.** Геориски развиты в планетосферах Земли и в ее весьма активных субчастях Высокой, Центральной Азии и Кыргызстане. КСВ изучает особенности формирования и развития опасных процессов и явлений, стихийных бедствий, чрезвычайных ситуаций и иных флуктуаций, в качестве механизмов преобразования планетосфер Земли. Снижение негативного воздействия георисков на людей и инфраструктуру населенных пунктов, территории и акватории, есть актуальная проблема интегрированной прикладной и фундаментальной науки о катастрофах – «Катастрофологии - КСВ».

**Методика.** В работе использованы методы полевых работ лабораторного и камерального анализа, систематизации, статистики, мониторинга, картирования, моделирования, типизации, прогнозирования георисков, а также использована система проведения диссертационных прикладных и теоретических исследований позволяющих не только использовать междисциплинарный подход, а также разработать новые методы и научные направления [1-6].

**Результаты исследований.** К катастрофам на Международной конференции проходившей в 1974 году в Венесуэле, решили относить: 1. стихийные бедствия, 2. крупные промышленные аварии, 3. эпидемии, 4. военные конфликты. Поэтому, КСВ, это интегрирующее научное направление, которая изучает современные

закономерности и историю формирования катастроф, их воздействия на окружающую геологическую среду, как быстрых во времени так и медленно протекающих опасных изменений природной среды, для предупреждения, оценки и снижения рисков бедствий и рационального ведения инженерной и хозяйственной деятельности человека [1-6].

В Кыргызстане КСВ, является функцией и прерогативой МЧС КР и профилирующих организаций, представлен разноведомственной мониторинговой сетями наблюдений и составленными в виде «дорожной карты» издаваемыми с перспективой на 1 и более годы вперед прогностическими сериями «Атласов карт оценки георисков» и «Книгами прогнозирования чрезвычайных ситуаций» с мониторингом и научными обоснованиями ожидаемых георисков на уровне 7 административных областей 42 районов, крупных городов Бишкек, Ош, Токмок, Нарын. Аналогично система КСВ-НИГ реально функционирует не только в странах Центральной Азии и других государствах Мира, которые так или иначе обращаются и ведут борьбу с катастрофами [6].

К причинам активизации и последствиям георисков в регионе Азии относятся взаимодействующие по законам ритмичности [1-6]:

а. Ежегодный орбитальный облет Земли вокруг Солнца, при максимальном приближении к Светилу увеличивает массу и сжимает объем планеты, при максимальном удалении от Солнца расширяется.

б). Круглогодичное импульсное орбитальное вращение крупного твердого ядра под углом около 45 градуса к Солнцу на удалении от 480 км и более от геометрического центра Земли внутри жидкой планетосферы под 5 твердыми подмантийными ядрами планетоблем.

в). Ежегодные ритмичные внутренние соударения твердого ядра Земли вращающегося со скоростью на от 0,25 до 0,5 градуса в год быстрее, с поверхностью и ядрами планетоблем нижней мантии Земли.

г). Круглогодичное опускание плоскости орбиты Земли 22 июня к южному, а 22 декабря подъема к северному полушариям Солнца.

Орбитальные движения 6 гидрид-металлических твердых, внутри жидкого ядра Земли, возмущают выше расположенные планетосферы гравиинертным механизмом массопереноса и импульсным сбросом остаточных напряжений и геоволновых реакции. Планетосферы региона Высокой и Центральной Азии взаимосвязаны между собой и вносят свой вклад в трансформацию георисками компонент геосфер. В КСВ дано влияние геофизической, геохимической, георесурсной, геокосмической, геоэкологической функций геосфер на инженерно - хозяйственную деятельность человека. Планетосферы региона Азии связаны с воздействиями выше указанных факторов и сопряжены с космо-экзогенными георисками [1-6].

**Космо- и ионосферы.** В регионе Евразии солнечно-лунно-земные, а также межпланетарные взаимодействия создают многолетние годовые месячные, суточные и более короткие по времени ритмические и циклические флуктуации и активизации изменений погоды и климата, посредством гравиинертных, электромагнитных вещественных и полевых воздействий, определяющих динамическую устойчивость поля палеопрочности планетосфер Геоида. Озоновые дыры ионосферы, потери воздуха в космическое пространство ведут к изменению климата и смещению их стратифицированных границ от нижних слоев атмосферы, через тропо- и страти- сферы до ионосферы и выше.

**Геодеформосферы.** В регионе Евразии наибольшие геодеформации сопряженные с георисками трансформирующими планетосферы воздействуют на инженерную и хозяйственную деятельность человека в приповерхностной толще кровли литосферы. На рис. 1 приведена составленная впервые НИГ «Карта катастрофования и инженерной геонии Евразии и ее субчастей Высокой и Центральной Азии и Кыргызстана» [1-3].

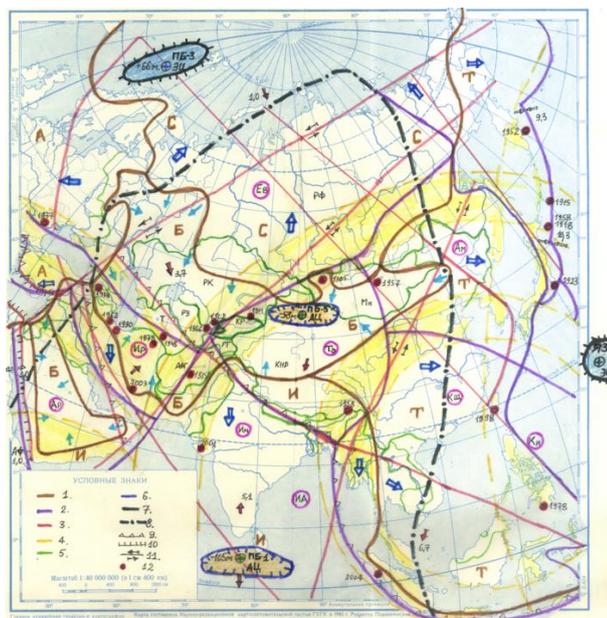


Рис. 1. НИГ карта катастрофопведения и инженерной геониии Евразии и ее суб-частей Высокой и Центральной Азии и Кыргызстана. В условных обозначениях приведены интегрированные границы: 1. бассейнов стока рек в океаны (А – Атлантический, И – Индийский, С – Северно-Ледовитый, Т – Тихий) и бессточные бассейны (Б); 2. литосферные плиты и их малые субчасти; 3. планетарные гигантские надрегиональные разломы; 4. сейсмические планетарные Мегаструктуры центрального типа, трансформирующие литосферу Евразии и ее субчастей (желтый цвет); 5. страны Евразии, Высокой и Центральной Азии и Кыргызстана (зеленый цвет); 6. поднятие на поверхности карты фигуры Геоида указывающие на расположение в гипоцентре ядра планетоблемы Северного-Ледовитого океана (в верхнем правом углу ПБ 3); 7. аналогично (6) расположение эпицентра основного наиболее крупного ядра изначально гидридной Земли (в правой части рисунка – ЯЗ); 8. границы прохождения нулевой (0) линии на гравиметрической карте фигуры Геоида; 9. границы передних фронтов сжатия на земную поверхность; 10. границы области растяжения; 11. сдвиги по планетарным глобальным разломам; 12. эпицентры произошедших катастрофических землетрясений. Названия частей литосферных плит: Та – Таримская, Ин –Индийская, ИА – Индо-Австралийская, Ар – Аравийская, Ир – Иранская, Та – Таримская, КЩ – Китайский Щит, Ки- Китайская, Ам – Амурская, Ев – Евразийская; границы государственные: КР- Кыргызской Республики, РК – Республики Казахстан, РУ – Республики Узбекистан, Т –Туркмении, РТ – Республики Таджикистан, КНР – Китайской народной Республики, Мн – Монголии, АфГ – Афганистана, РФ – Российской Федерации.

На НИГ карте Евразии континент контролируется 4-мя особыми планетарными грави-инертными узлами палеопрочности Земли, расположенными в виде понижений и возвышений на карте спутниковой гравиметрии Геоида.

Самое северное возвышение Геоида расположено над Кольским полуостровом +66 м., представлено эпицентром ударного столкновения пра-Земли 2,8 млрд. лет тому назад с планетоблемой Арктической (Северно Ледовитого океана), антиподальный центр которой выходит на западную оконечность Антарктиды.

Южное максимальное на Земле понижение -105 м. фигуры Геоида находится ниже Индийского полуострова и острова Шри-Ланка и представлен антиподальным центром планетоблемы Тихий океан ударное столкновение которой произошло 0, 67 млрд. лет тому назад и, эпицентр которого находится на срединно-океаническом хребте в близ экваториальной зоне западнее Южной Америки. Восточный особый узел ударных столкновений планет представлен эпицентром земного твердого ядра, расположенного в западной части Тихого океана, восточнее южной оконечности Японии.

Четвертая особая зона понижений Геоида находится в центре от выше описанных критических точек палепрочности Земли, на северо-востоке Кыргызского

Тянь-Шаня в северной части Китая с понижением Геоида –58 м., представлен антиподальным центром Бразильской планетоблемы возрастом ударного столкновения 4,0 млрд. лет тому назад, эпицентр которого расположен на срединно-океаническом хребте западнее южной оконечности континента Южной Америки.

Континент Евразия и исследуемые нами регионы Высокой и Центральной Азии, а также Кыргызстана, контролируются описанными выше эпи- и антиподальными центрами грави-инертного и электро-магнитного полей палеопрочности Геоида, удерживаемые в планетосферах наиболее плотными и гравитирующими твердыми ядрами Земли. На НИГ карте типизации континент Евразия в срединных ее областях представлен бессточным бассейном стока рек (рис.1, Б- коричневые линии) контролируемый антиподальным центром Бразильской планетоблемы. Антиподальный центр Тихоокеанской планетоблемы контролирует бассейны стока рек в Индийский океан, а эпицентр изначального гидридного твердого ядра Земли в бассейны стока рек в Тихий океан [1, 4].

На НИГ карте красными стрелками показаны направления движения литосферных плит и их геоблоков, голубыми и синими стрелками направления движения бассейнов стока рек.

Желтыми цветами линии и закрашка показаны сейсмические кольцевые мегаструктуры центрального типа, где находятся закономерно эпицентры сильнейших землетрясений, с указанием года катастрофических событий с их индуцированными георисками.

Красными линиями выделены планетарные разломы и сдвиги раздробившие континент Евразии на тектонические блоки. Фиолетовые линии являются границами раздела литосферных плит и их тектогеоблоков на субчасти. На НИГ карте штрих пунктирная линия черного цвета является нулевой изолинией поверхности фигуры Геоида и контролирует бессточный крупнейший на планете бассейн стока рек. Кыргызстан и страны Центральной Азии (Рис.1) расположены в бессточном бассейне стока рек. Территория Кыргызстана в северо-западной и южной частях рассечены региональным разломом, сдвигом. Здесь проходит в направлении с юго-запада на северо-восток граница литосферного блока и эпицентры произошедших 1902 и 1966 и 1911 гг., катастрофических землетрясений [1, 4].

На НИГ модели планеты Земля Кыргызстан расположен на широте, планетарного пояса разломов, где с 40° северной широты испытывает движение литосферных полигрунтов в восходящем направлении и субширотной ориентировке разломов, геологических структур и их смещению в северо-западные румбы. В указанных широтах, вследствие высоких значений деформационно-напряженного состояния литосферы, происходит превышение сил деформирования над прочностью грунтовых массивов, последние освобождают предельные напряженные состояния в виде разломов различного ранга и соответственно сопровождаются сейсмокатастрофами с многоступенчатыми георисками [4-6].

На НИГ модели типизации и прогноза георисков сейсмического характера Евразии (Рис. 2), территория Кыргызстана приурочена в широтном отношении к северной части максимального пика геонима латеральной орогенности, а также максимального пика геонима сейсмичности, что указывает на активность современных деформационных движений и проявление высвобождения упругой энергии напряжений в виде землетрясений (Рис. 2).

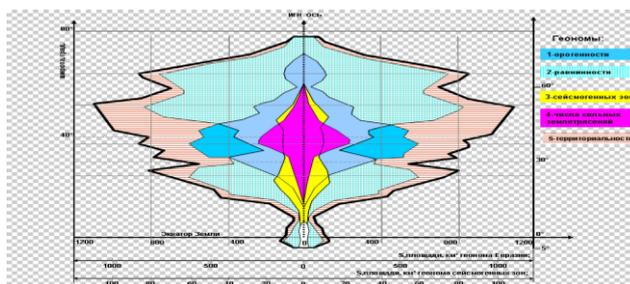


Рис. 2. НИГ модель по-широтного интегрирования, типизации и прогноза георисков и закономерности распределения их геонотов: 1. орогенности, 2. равнинности, 3. сейсмогенных зон, 4. числа разрушительных землетрясений, 5. Территориальности

Литосфера Кыргызстана расположена на НИГ модели между двумя широтами проявления волн тектонической деформации, южнее происходят на широте 20° с.ш. геодеформации движущиеся со скоростью 236 м/сут (86,2 км/год), севернее на широте 47° с.ш. 93 м/сут (34 км/год). На НИГ модели (Рис. 2) для Евразии выделены наиболее опасные широты пораженные георисками от сильных землетрясений с максимальным пиком геонота на 38-40 град с.ш., а также 2 максимальных пика геонота распространности сейсмогенных зон на 22 и 43 град с.ш. При этом на НИГ модели пик геонота числа сильных землетрясений коррелируется с максимумами орогенности. На НИГ интегрированной карте типизации и прогноза георисков в Высокой Азии (Рис. 3).

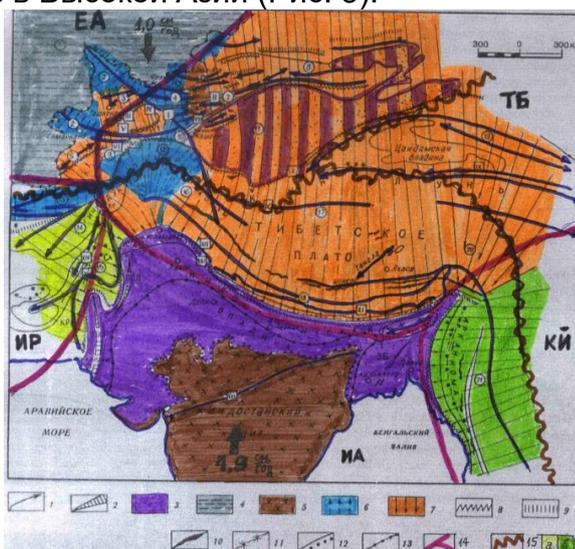


Рис. 3. НИГ интегрированная карта типизации и прогноза георисков на территории Высокой Азии объединяющая следующие тематические карты: а. границ литосферно- плитных (14) субблоков КИ – Китайской, ИА – Индо-Австралийской, ИР – Иранской, ТБ – Тибетской, ЕА - Евразийской; б. вергентных новейших тектонических геоволновых движений; в. неотектонического районирования, г. границ бассейнов стока рек в океаны. В условных обозначениях: 1. мегаантиклинали первого порядка, 2. мегасинклинали, 3. молассовые отложения кайнозоя, 4. Туранская плита, 5. Индостанский щит, 6. северо-моновергентные неотектонические движения, 7. южно - моновергентные неотектонические движения, 8. участки преимущественного сжатия, 9. участки преимущественного растяжения на общем фоне сжатия, 10. офиолиты, 11. участки проявления кайнозойского вулканизма (цепи вулканов и отдельные вулканы), 12. линии несогласного залегания кайнозойских моласс на древнем основании, 13. граница Индостанской платформы, 14. границы блоков литосферных плит, 15. границы бассейнов стока рек в океаны, 16. территории представленные: а. восточно-моновергентными, б. западно- моновергентными геоволновыми движениями.

Трансформация литосферы протекает в активном взаимодействии с тектоносферой, сейсмосферой, геогидросферой и криосферой максимально на крутых крыльях геоволновых новейших вергентных и на границах смены знака поливергентных структур. Кыргызстан расположен в северо-западной части региона Высокой Азии ограничен с запада и севера границей литосферного Таримского блока контактирующего с Казахстанским щитом, и сложен южно-, и северовергентными, ди – и конвергентными структурами [4, 5].

**Литосфера.** В регионе Азии и ее субчастей на примере региона Центральной Азии в т.ч. Узбекистане, Кыргызстане, Таджикистане и Казахстане в связи с планетосферными флуктуациями геоэкологического, антропогенного и техногенного воздействия, компоненты литосферы ритмически и циклически теряют свою палепрочность и устойчивость под прессом трансформирующих их поверхность и кровлю экзо- и эндогенными георисками природного, техногенного и экологического характера [1-6].

На рис. 4 приведена составленная НИГ карта трансформации георисками на линии столкновения Туранской плиты с Тянь-Шаньским орогеном, а также от разломной тектоники, землетрясений и просадок в лессах поверхности литосферы Республики Узбекистан.

Преобразованием карты (Рис.5 а, б.) получены НИГ модели латерально по-широтной (а) и вертикальной по-высотной (б) где даны закономерности распределения геонотов: а. территориальности (внешний контур модели); А – акваториальности; L – распространенности лессовых формаций; цифры от 5 до 9 геоноты площадей распространения землетрясений указанных интенсивностей в баллах. Максимальные пики распространения геонотов (Рис. 5 а, б) указывают в прогностическом отношении на наиболее опасные широты и высоты концентрации георисков.

На рис. 6 составлена впервые «Карта интегральной типизации и прогноза георисков от землетрясений, оползней и аномально высокого количества выпадающих атмосферных осадков трансформирующих литосферу и ее кровлю на территории Кыргызстана и трансграничных районах со странами Центральной Азии.

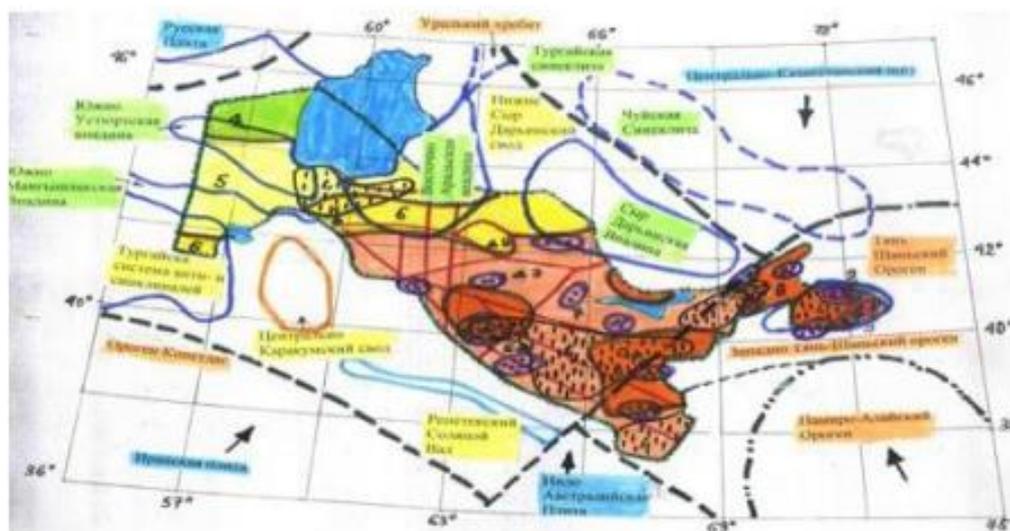


Рис. 4. НИГ карта трансформации георисками от землетрясений и просадок в лессах и столкновения Туранской плиты с Тянь-Шаньским орогеном литосферы Республики Узбекистан.

На НИГ карте (Рис.6) штрих контурами выделены 4 наиболее сейсмогеономически опасные полигоны на территории Кыргызского Тянь-Шаня и Памиро-Алая. На НИГ карте выделены следующие прогностические полигоны в уменьшающейся по уровням опасности последовательности: I – наиболее опасный Памиро-Алайский; I – очень опасный Северо Иссик-Кульско-Кунгейский; III весьма опасный Северо – Ферганско - Чаткальский; IV – опасный Бооомский блоки ожидаемых сейсмо-геономических рисков бедствий.

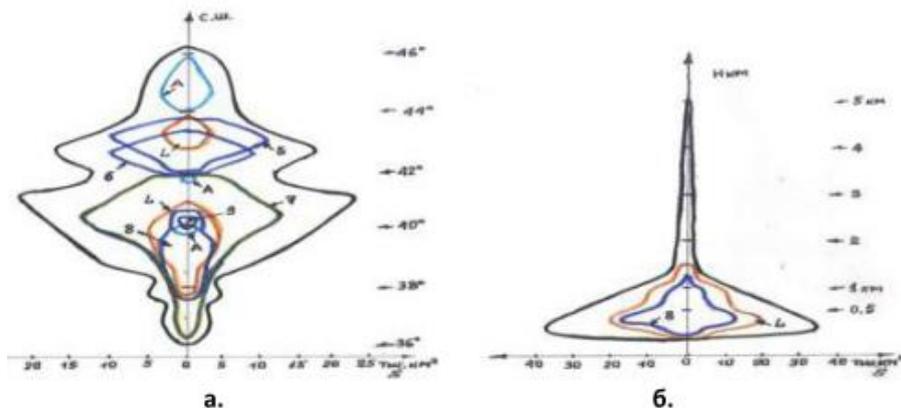


Рис. 5. НИГ латеральные по-широтные (а) и вертикальные по-высотные модели закономерностей распределения типизации и прогноза георисков трансформирующих литосферу Узбекистана

На НИГ карте красным цветом закрашены площади распространения георисков от оползней, в северную группу которой подпадает южный контур III весьма сейсмически опасного Северо – Ферганско – Чаткальского прогностического полигона. Линиями синего цвета на НИГ карте выделены и закрашены в голубой цвет зоны аномального большого выпадения атмосферных осадков до 800 мм и более в год, в западную часть их воздействия попадают оползневые районы центрального обрамления Ферганской депрессии. Оставшиеся оползнеопасные зоны юго-восточного и южного обрамления Ферганской впадины контролируются высокими градиентами актуотектонических (современных) движений, разломами и вергентными геволовыми структурами в сочетании с их геогидрологической водообеспеченностью.

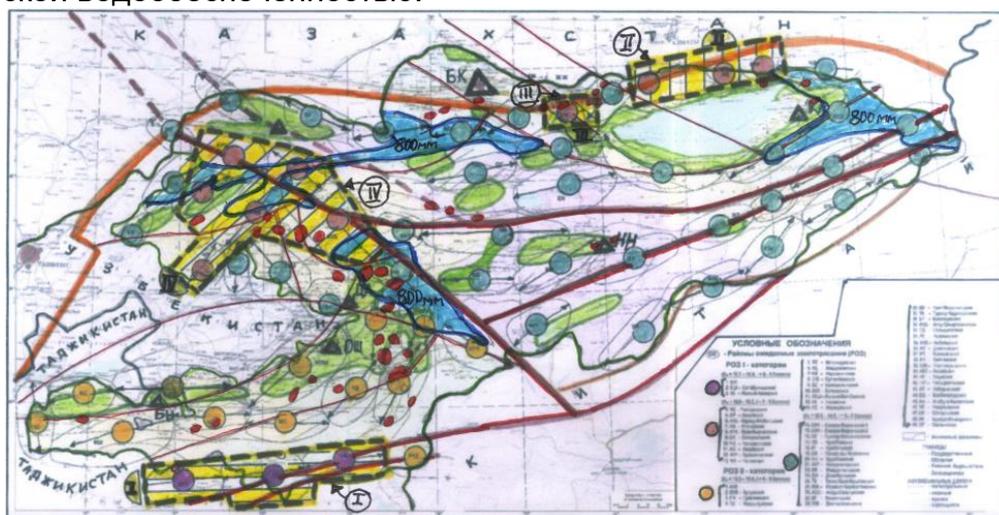


Рис. 6. НИГ карта интегральной типизации и прогноза георисков от землетрясений и оползней трансформирующих литосферу и ее кровлю на территории Кыргызского Тянь-Шаня и Памиро-Алая и трансграничных районах со странами Центральной Азии.

На рис. 7 показаны полученные преобразованием НИГ карт оползней, геонмом модели их типизации и прогноза [4-6].

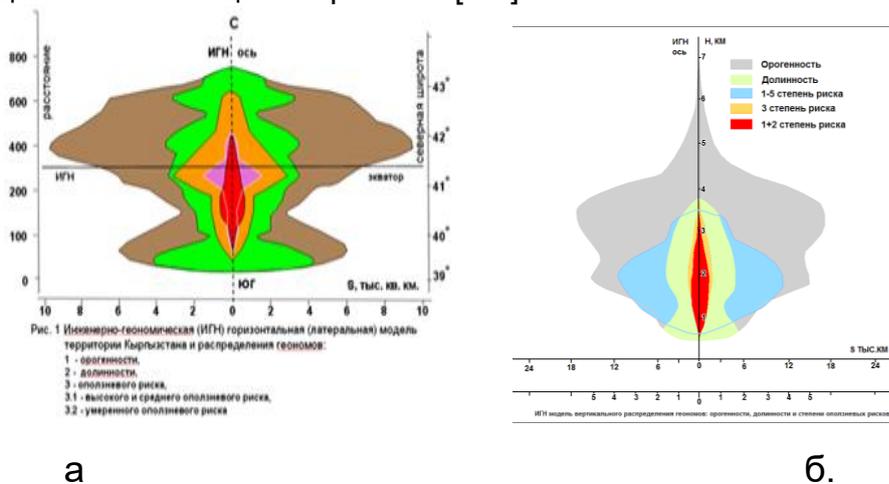


Рис. 7. НИГ модель вертикальной по-высотной закономерности распределения, типизации и прогноза георисков от оползней и геонмомы: территориальности; орогенности, долиненности, оледененности.

**Атмосфера.** В регионе Азии освоение космоса проходит преодолением плотных слоев атмосферы при запуске космических кораблей и спутников, которые вносят свой вклад в нарушение устойчивости планетосфер. Летящие регулярно с ростом их количества военных и гражданских на горючем топливе самолетов, вертолетов, запуски межконтинентальных и меньшей дальности ракет вносят свой вклад в потепление климата. Природные и техногенные пожары, сжигание круглогодичное углей, нефти и газа, дров, мусорных свалок, выбросы фриона и другие увеличивающие уязвимость атмосферы газов из бытовой и промышленной техники, двигателей на горючем топливе железнодорожного, автомобильного и водного транспорта, вносят вклад в потепление климата. На потепление климата и атмосферу исследуемого региона планетарно повлияло обмеление и деградация Аральского моря, исчез воздушный барьер влаги от испарения водоема. Извержения вулканов приводят к запепелению атмосферно воздуха на больших высотах с сокращением и отражением проникновения лучистой энергии Солнца на Землю с эффектами элементов похолодания [1-2].

**Гидрогеосфера.** В регионе Азии и территории Кыргызстана (Рис.8) в связи с многолетней и постоянной разгерметизацией атмосферы освоением космоса, тепловыми выбросами двигателей летательных аппаратов и массовым сжиганием горючего топлива на Земле, а также интенсивным водозабором загрязняется и истощается гидросфера [5].

В гидросфере Кыргызстана от потепления климата увеличивается испарение воды, деградация мерзлых грунтов, таяние снежников и ледников. Искусственное зарегулирование поверхностного стока рек созданием водохранилищ, гидроэлектростанций, каналов, приводят к дисбалансу водных ресурсов, повышению уровня грунтовых вод, заболачиванию, засолению земель и георискам водного генезиса. В регионе вследствие роста населения увеличиваются водозаборы для питьевых целей, промышленности, сельского хозяйства, животноводства, а потребности извлечения с помощью закачки воды нефти и газа, приводят к истощению и загрязнению ресурсов подземных вод, связанных с поверхностными источниками их питания. В Кыргызстане тысячи сельских населенных пунктов до сих пор не обеспечены чистой питьевой водой, а потребности в по-

ливной воде весьма высоки. Указанные на НИГ модели пики связаны с изменением климата и поднятием вверх нулевой изотермы и тенденции роста высоты аномального выпадения атмосферных осадков [4-6].

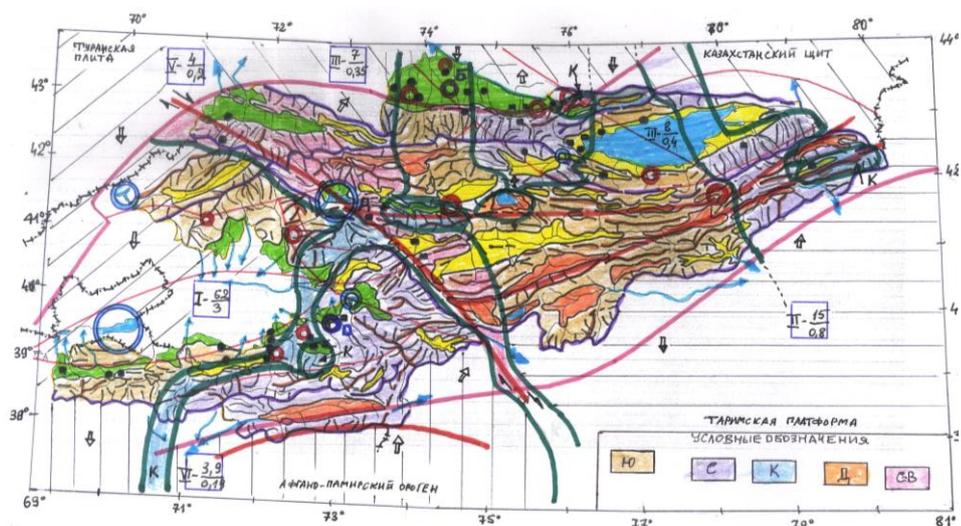


Рис. 8. ИГН карта типизации и прогноза трансформации георисками водного генезиса гидрогеосферы территории Кыргызстана и трансграничных стран Центральной Азии. В условных обозначениях показаны: геоволновые направления поливергентного движения и падения горных масс Ю- южно-, С – северо-, К - кон-, Д – Ди; СВ – северо-восточного вергентного движений; голубыми кругами околтурены водохранилища, ГЭС потенциально несущие угрозы разгерметизации и разрушений плотин при сейсмодататрофах; красными кружочками выделены крупные населенные пункты, радиоактивные хвостохранилища несущие угрозы георисков овдного характера; на трансграничных территориях даны в квадратах количественные оценки стока поверхностного в числителе и величин подземного в знаменателе водного стока.

На рис. 9 приведена вертикальная ИГН по-высотная и по-глубинная совмещенные модели закономерностей распределения, круговорота, типизации и прогноза георисков водного генезиса трансформирующие гидрогеосферу Тянь-Шаня и Памиро-Алая. В нижней части геонм-модели приведены расчетные данные о количестве воды содержащейся на различных глубинах недр Кыргызстана до астеносферы в тыс. км<sup>3</sup>: 13,3 до 2 км, 35 до 5 км, 25,5 до 25 км, 35 до 70 км. Стрелками красного цвета показаны направления движения и круговорота воды в пределах трансформирующейся гидрогеосферы исследуемого горно-складчатого региона [4-5].

На ИГН вертикальной по-высотной модели (верхняя часть) (Рис. 9): внешний контур черного цвета - геонм территориальности Кыргызстана. Желтый-голубой-зеленый цвета в середине геонм-модели дифференцированные по высотному расположению – геонмы долинности. Голубым цветом на ИГН модели показан, геонм распределения изменчивости атмосферных осадков по вертикали, которые имеют два пика на высотах 1,8 км и 3,2 км.

Слева ИГН модели стрелками показаны высоты расположения нулевой изотермы, которая в связи с потеплением климата и деградацией ледников и многолетней мерзлоты поднялась от 2,45 км, до 2,5 км, и по прогнозу к 2030 г. ожидается поднимется до 2,53 км. Линии параллельные: фиолетового, зеленого и красного цвета, показывают трансформацию гидрогеосферы и прогностические тренды уменьшения объема годового стока воды в результате деградации

ледников начиная с 2020 по 2100 годы. Толстая линия фиолетового цвета окаймляющая геонумы, показывает при условии деградации ледников и истощении водных ресурсов характер трансформации гидрогеосферы [4-5].

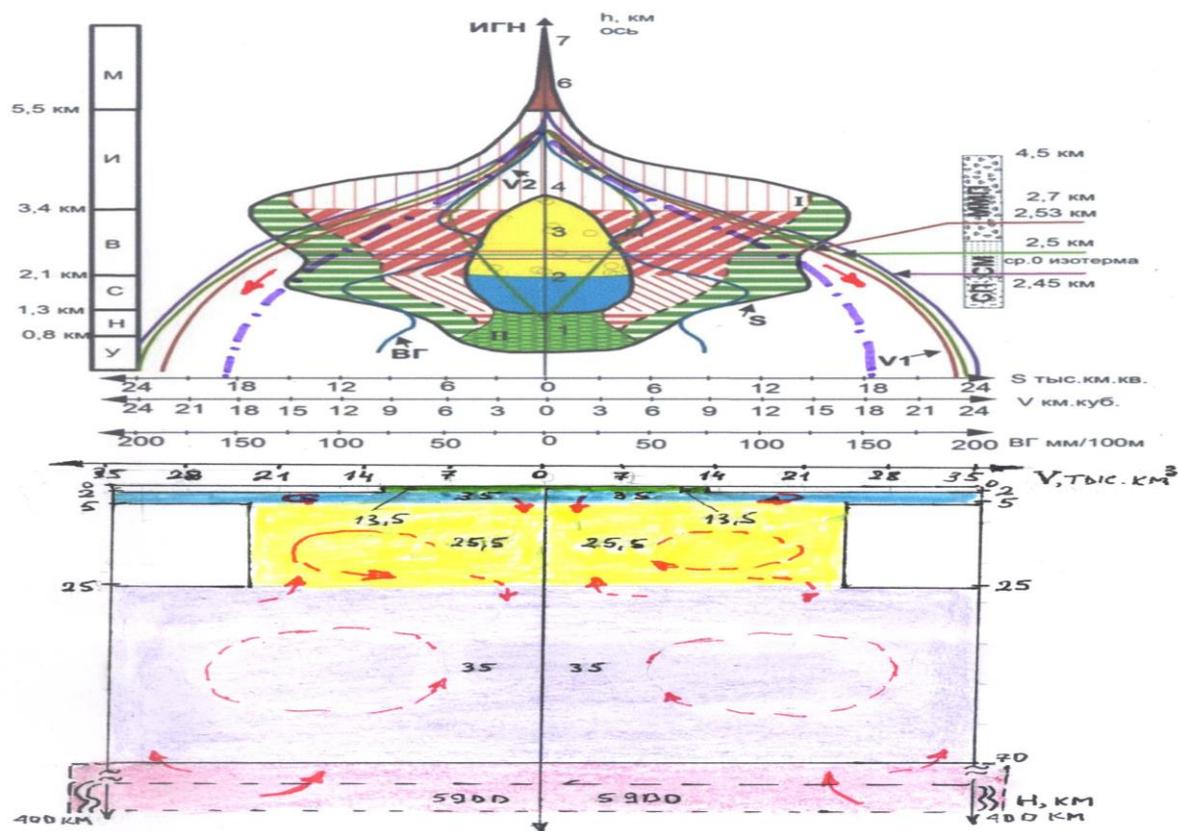


Рис. 9. ИГН вертикальная по-высотная и по-глубинная совмещенные модели закономерностей распределения, круговорота, типизации и прогноза трансформации георисками водного генезиса гидрогеосферы на примере горных стран Тянь-Шаня и Памиро-Алая.

**Крио- и гляцио- сферы** региона Центральной Азии и Кыргызстана являются источниками пресной питьевой воды, регуляторами изменения климата и геодинамических изменений сопряженных с георисками гляцио-мерзлотного характера, трансформирующими поверхность и кровлю литосферы. Многолетне-мерзлые грунты занимали в конце 20 века 34 % территории Кыргызстана. Современные площади деградации мерзлоты не исследованы. За 40-70-е годы XX века по Каталогу ледников СССР, в Кыргызстане насчитывалось **8164** ледника общей площадью **7944,2 км<sup>2</sup>**. По спутниковым снимкам «Landsat-8» данные ЦАИИЗ по состоянию на 2013-2016 гг. насчитывается **9959** ледников общей площадью **6683,9 км<sup>2</sup>**. Сокращение площади ледников составляет 1260,3 км<sup>2</sup>. т.е. на 16 %, а темпы деградации в среднем 27,3 км<sup>2</sup>/год. Объемы ледников сократились по данным ИВП и ГЭ НАН КР с 1960 по 2015 гг. на 219 км<sup>3</sup>.

На рис. 10 представлена впервые составленная с использованием данных Ерохина С.А., Чуйико Нарама и Дайырова М. «НИГ карта типизации и прогноза возможных прорывов высокогорных озер по категориям уязвимости в зависимости от нулевой изотермы и средне-многолетней температуры июля месяца с 10 град по Цельсию (на июль- сентябрь месяцы» [4-5].

На рис. 11 дана НИГ модель латеральной по-широтной (Рис. 11-а), и вертикально по-высотной (Рис. 11-а) закономерностей распределения, типизации и прогноза георисков от деградации оледенения и их геонумы: 1-оледененности, 2-ороженности, 3-долинности в пределах верхней части литосферы Кыргызстана, где отчетливо видно, что оледенение развито в пределах северных широт 42

град15 мин, 39 град 35 мин и 41 град, и одновременно сконцентрированы на высотах 2,8 км, 3,5 км и до 3,8 км.

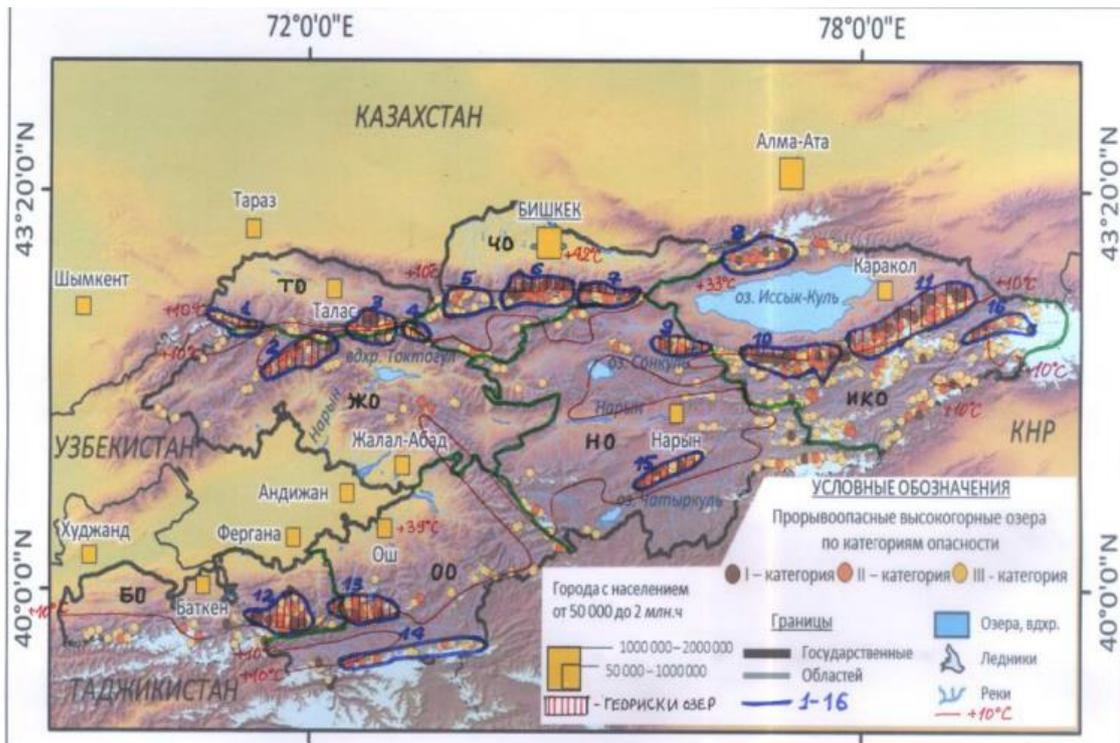


Рис. 10. ИГН карта типизации и прогноза к возможным прорывам высокогорных озер по категориям уязвимости в зависимости от нулевой линии и изотермы средне-многолетней температуры июля месяца с 10 град по Цельсию (на август - сентябрь 2019 г.)

При этом, на латеральной по широтной модели (8-а выделены 3 пика), а на модели 8-б по 3 высотных пика геонорма оледененности, которые свидетельствуют, что деградация ледников будет инерционно происходить по горизонтали и вертикали в 3 этапа [4].

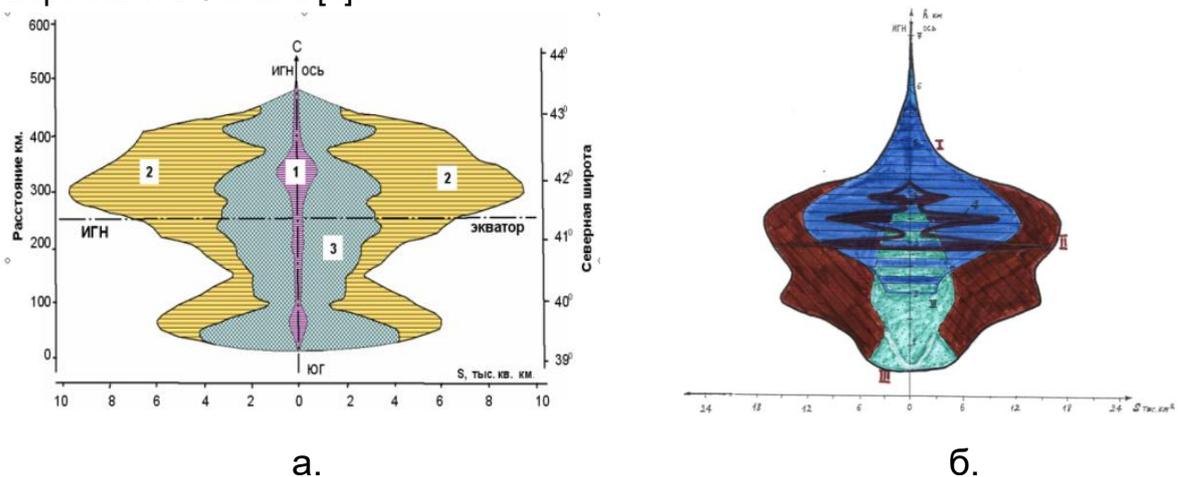


Рис. 11. НИГ модели: а. латеральной по-широтной, б. вертикальной по-высотной закономерностей распределения, типизации и прогноза георисков и трансформации их геонорм от изменения климата составленные на основе преобразования карт оледененности на поверхности литосферы Кыргызстана

**Техносфера.** Техносферные геориски представлены на составленной (Рис. 12) НИГ карте типизации и прогнозирования георисков от актуотектонических движений и техногенных взрывов используемых при разработке месторождений полезных ископаемых на территории Казахстана.

На рис 12 показаны изолиниями оранжевого цвета современные движения вертикального поднятия, голубые опускания территории, красные линии с штрихами площади где производятся промышленные взрывы при освоении рудников, а оконтуренный темно-красным цветом с буквой С – Семипалатинский ядерный полигон.

Красные прямые линии региональные разломы, с двумя стрелками на конце разлома тектонический сдвиг, черные линии зоны с различной интенсивностью землетрясений. Техносферные риски бедствий связаны с деятельностью ОАО «Кыргызгаз осуществляющей поставки 245000 бытовым и коммерческим потребителям газа, по распределительной сети протяженностью 578,1 км газопроводов среднего давления, 1675,9 км газопроводов низкого давления и около 900 газораспределительных станций.

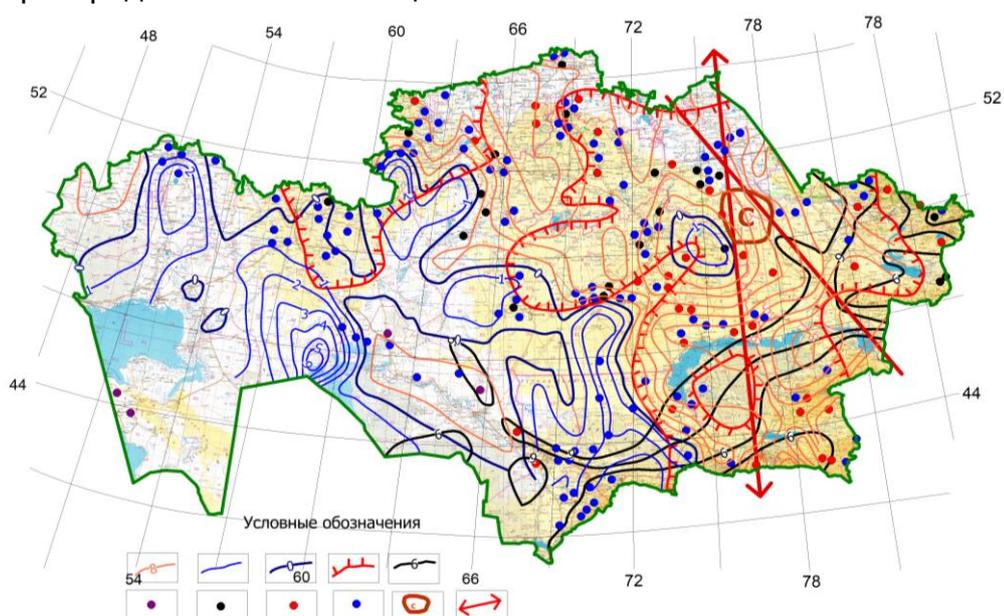


Рис. 12. НИГ карта типизации и прогнозирования георисков от актуотектонических движений и техногенных взрывов используемых при разработке месторождений полезных ископаемых на территории Казахстана

На рис. 13 представлена «Карта распределения сети газопроводов представляющие техногенные геориски на территории Кыргызстана (Газпром КР)». Для минимизации техногенных рисков необходимо заблаговременно подготовить эффективные средства аварийного реагирования, направленные на обеспечение безопасности персонала и населения, снижение уровня загрязнения, защиту природных водоемов и почво-грунтов, на всех стадиях освоения месторождений нефти и газа.

**Сеймосфера.** В регионе Центральной Азии по Мамырову Э.О. и др. ИС НАН КР в 1994 г. (Рис. 14) впервые была на примере Кыргызстана составлена карта вероятного долгосрочного прогноза сильных землетрясений на территории Кыргызстана масштаба 1:1000000, которая ежегодно совершенствуется.



Рис. 13. Карта распределения сети газопроводов представляющие техногенные геориски на территории Кыргызстана (Газпром КР)

На территории Кыргызстана и в приграничных районах стран Центральной Азии произошло за последние 24 лет 48 землетрясений с магнитудой  $M_S=4,6 - 6,1$  от 5 до 8 баллов. В прогностическом плане из 17 сейсмических катастроф 12 (т.е. 75 %) трассирует северные границы Тянь-Шаньского орогена, а более 50% приходится на Чуйскую область. Оставшиеся 25% эпицентров землетрясений приходятся на южные границы описывающие Гисаро-Кокшаальский важнейший глубинный разлом и соответственно Алайский и Памиро-Алайский регионы [3, 4, 6].

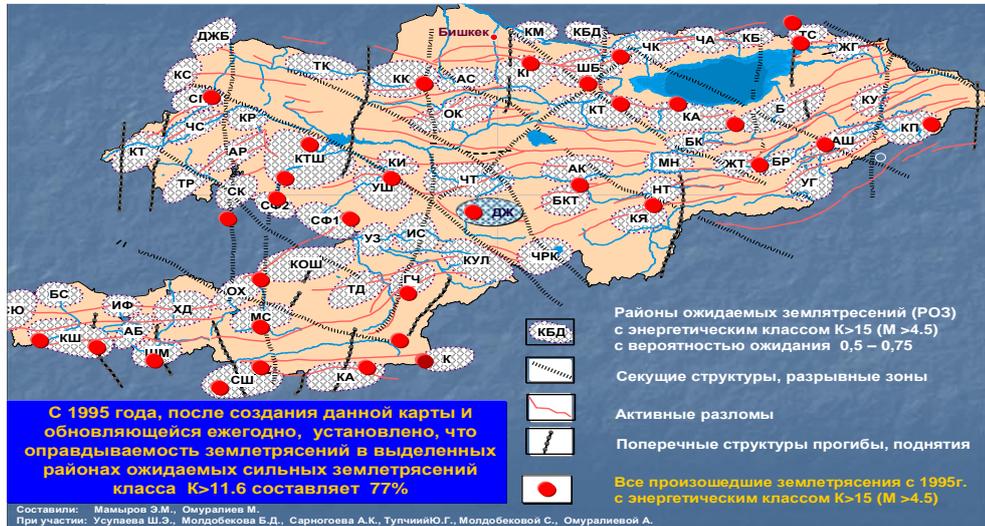


Рис. 14. Карта оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений в Кыргызстане и трансграничных районах стран Центральной Азии

На составленной карте среднесрочного прогноза землетрясений для литосферы Таджикистана (Рис. 15), выделены 26 РОЗ где вынесенные красными кружочками эпицентры произошедших землетрясений с 75 % достоверностью позволяют получить прогностические данные [5, 6].

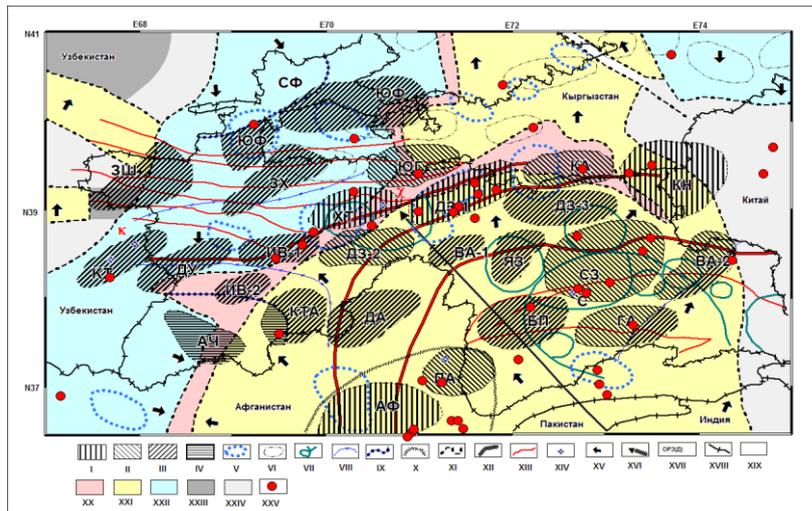


Рис. 15. Инженерно-геономическая карта прогноза георисков от землетрясений на территории Таджикистана и прилегающих районах Центральной Азии

Достоверность подпадания эпицентров произошедших землетрясений с магнитудой более 5, составляет для Кыргызстана от 75 до 80 %, территории Таджикистана 70 до 75 % и соответственно приграничных районов со странами Центральной Азии.

Рекомендуется для создания надежной системы раннего оповещения в онлайн режиме сейсмokatastroф, расширить действующую в РФ г. Томске региональную сеть МГР 01 С и создать мировую систему мониторинга прогноза землетрясений. Одновременно осуществляется круглогодичный мониторинг слежения за трассой орбитального вращения твердого ядра проходящего по орбите под каждой страной и/или сегментом Земли, что повысит получение точных значений в прогнозе времени активизации землетрясений [5].

Разработана за последние 5 лет работы в ЦАИИЗ и внедрена (Рис. 16).

ИГН шкала	КАТЕГОРИИ УЯЗВИМОСТИ (КУ)											
	I. БЕДСТВИИ				II. КРИЗИСЫ				III. ДИСКАМФОРТА			
	1. Катастрофически большая		2. Бедственно-большая		1. Кризисно-большая		2. Прельстно-большая		1. Дискампорто большая		2. Дискампорто малая	
ИГН индикаторы	УРОВНИ ОПАСНОСТИ (УО)											
	а. Катастрофически высокий	в. Бедственно высокий	с. Уничтожительно высокий	д. Опустошительно высокий	а. Кризисно-высокий	в. Разрушительно высокий	с. Очень высокий	д. Высокий	а. Средний	в. Умеренный	с. Низкий	д. Регистрируемо-низкий
Классификация чрезвычайных ситуаций по степени тяжести – по Указу № 3, (2009 г.) для территории Кыргызской Республики и трансграничных районов с государствами Центральной Азии.												
Предлагаемая для Кыргызской Республики												
Название стихийного бедствия	Национальный		Национальный	Межобластной	Областной, межрайонный	Районный, городской, между а/о	Айал-окмоту, между МСУ	Местные самоуправления (МСУ), селам	Селамдиз.	Индивидуальный		
Погибшие (чел.)	более 3001		от 300 до 3000	от 31 до 300	от 15 до 300	от 5 до 10	от 2 до 5	от 2 до 5	до 2 (редко)	до 1 (редко)	жертв нет	
Пострадавшие (чел.)	более 12000		от 1200 до 12,0 тыс.	от 124 до 1200	от 60 до 120	от 20 до 40	от 8 до 20	от 8 до 20	до 8	до 4	до 1	
НЗ, чел.-нарушено условия жизнедеятельности	более 180 тыс.		от 18 тыс. до 180 тыс.	от 1,8 тыс. до 18,0 тыс.	от 900 до 1,8 тыс.	от 300 до 600	от 120 до 300	от 120 до 300	до 60	до 60	до 15	
В минимальных зарплатах, материальный ущерб	свыше 6 млн. без учета выплат семьям погибших и пострадавших		до 6,0 млн. без учета выплат семьям погибших и пострадавших	до 1,2 млн. без учета выплат семьям погибших и пострадавших	до 120 тыс. без учета выплат семьям погибших и пострадавших	до 12,0 тыс. без учета выплат семьям погибших и пострадавших	до 1,2 тыс. без учета выплат семьям погибших и пострадавших	до 120 тыс. без учета выплат семьям погибших и пострадавших	до 12 тыс. без учета выплат семьям погибших и пострадавших	до 12 тыс. без учета выплат семьям погибших и пострадавших	До 1 без учета выплат семьям погибших и пострадавших	
Предписанный уровень принятия ответственных решений.	Межгосударственные советы стран		Правительство Кыргызской Республики	Главы Обл. администраций	Глава Обл., главы райгос. администраций	Глава Районной госадминистрации, мерии городов	Глава айала окмоту	Главы МСУ	Глава селам	Инициатив		
Степень тяжести чрезвычайных ситуаций			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		

Рис. 16. ИГН классификационная шкала оценки георисков по степени тяжести для составления карт и моделей их типизации и прогноза и принятия ответственных решений на территории Кыргызской Республики и трансграничных районов стран Центральной Азии

12 мерная КСВ-НИГ шкала в целях унифицированной оценки георисков природного, техногенного и экологического генезиса. На НИГ-шкале впервые генетически взаимоувязаны в иерархической соподчиненности между собой КУ-категория уязвимости, СР-степени риска, УО уровни опасности. При этом КУ-содержит нагрузку пространственного местоположения и одновременно энергетические и временные компоненты изменяющейся природной среды. По 12 мерной НИГ шкале выделены генетически взаимоувязано 3 КУ: I-Бедствия, II-Кризиса, III-Дискамфорта, 6 степеней риска и 12 уровней опасности. НИГ-шкала позволяет на карте закрашивать для оперативного реагирования и принятия практических действий и мер на проявления по принципу светофора в направлении уменьшения воздействия георисков (красный-желтый-зеленый) [5, 6]

На постсоветском пространстве ВАК КР впервые на базе межправительственного соглашения между Кыргызской Республикой и Республики Таджикистан был создан МГДС – Межгосударственный диссертационный совет укомплектованный ведущими учеными из Кыргызстана, Таджикистана, Казахстана, Узбекистана и России.

В области исследования природы георисков и минимизации их негативного воздействия на население внедрены в практику научные инновационные результаты 4 актуальных следующих диссертационных работ на примере территории Кыргызстана и стран Центральной Азии.

**а. Закономерности формирования подземного стока внутриконтинентальных орогенов Центральной Азии»,** защищена Лагутиным Евгений Ивановичем на **доктора** геолога минералогических наук в **2015 г.** по специальностям: 25.00.07 – Гидрогеология; 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение. Работа позволила дополнить и развить на примере региона внутриконтинентальных орогенов Центральной Азии, науки гидрогеология, инженерная геология, геогидрология, проблемы устойчивого и экологически безопасного водообеспечения развивающихся государств Центральной Азии.

**б. “Инженерно-геологические особенности трансформации кровли литосферы горных стран (на примере Таджикистана)”** защищена в **2015 г.** Валиевым Шариф Файзуллоевичем на соискание ученой степени **доктора** геолого-минералогических наук по специальности 25.00.08 – «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение». Результаты инженерно- геологических и инженерно-геономических исследований георисков, предназначены для специалистов по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и экологического характера.

**в. “Инженерно-геологическая типизация георисков на территории города Душанбе и его агломерации”** защищена в **2016 г.** Шарифовым Гул Вахобовичем на соискание ученой степени **кандидата** геолого-минералогических наук по специальности 25.00.08 – «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение». Полученные результаты и составленная инженерно-геологическая и геономическая карты и модели предназначены для использования в планировании градостроительства и деятельности службы по чрезвычайным ситуациям Республики Таджикистан.

**г. “Закономерности трансформации гидрогеосферы горных стран (на примере Тянь-Шаня и Памиро-Алая)”**, защищена в 2019 г. Оролбаевой Лидией Эргешевой на соискание учёной степени **доктора** геолого-минералогических наук по специальностям 25.00.07 –Гидрогеология. Полученные результаты востребованы и используются в сфере «Управления водными ресурсами и снижении георисков водного генезиса горных стран”.

В течение последних 5 лет от ЦАИИЗ автором опубликовано 120 научных трудов в сфере типизации и прогнозирования катастроф и георисков в планетарном, надрегиональном, региональном и локальном уровнях, в т.ч. 26 внедрены в деятельность МЧС КР и изданы в книге: «Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (Издания с №12 по №16-е).

### **Выводы.**

1. Страны Центральной Азии и Кыргызстана базируются на практике на основе созданной прикладной науки «Катастрофология» (КСВ) как «дорожную карту» позволяющую снижать риски бедствий для населения службами по защите и предупреждению от ЧС и профилирующими организациями.

2. Для стран континента Евразии и его субчастей стран Центральной Азии составлены впервые интегрированные НИГ карты типизации и прогнозирования георисков, с преобразованием их в геонот-модели.

3. Планетосферы региона Центральной Азии и Кыргызстана требуют наращивания сетей мониторинга и систем раннего оповещения населения от сейсмодорожных и многоступенчатых ЧС. В ЦАИИЗ и профилирующих организациях стран Центральной Азии функционирует и наращивается междисциплинарная стационарная и локальные мобильные комплексные сети позволяющие дистанционным и наземным инструментальными измерениями проводить мониторинг георисков и опасных изменений окружающей природной среды.

4. ЦАИИЗ участвует в подготовке и выпуске за последние 5 лет квалифицированных кадров по системе: «горный инженер гидрогеолог – магистр – кандидат – доктор наук» для решения прикладных задач и приоритетных проблем оценки и предупреждения георисков, изменения климата и водных ресурсов в регионе Центральной Азии и Кыргызстане.

5. Ежегодно для вузов и профилирующих их кафедр инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии, ЗЧС – защита от чрезвычайных ситуаций, геофизики и геодинамики в ЦАИИЗ проводятся практики, курсы лекции в сфере подготовки и выпуска инженерных кадров по катастрофам и георискам.

### **Литература**

1. Ачкасов П.В., Усупаев Ш.Э. Гипотеза ударного преобразования планет солнечной системы на примере Земли. Материалы международной конференции «Подготовка к чрезвычайным ситуациям и реагирование на риски экологической безопасности в Центрально-Азиатском регионе» декабрь 18 – 19, 2003, Бишкек 2004, С. 138 -145.
2. Малышков Ю.П., Малышков С.Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра Земли. Геология и геофизика, 2009, т. 50, №2,
3. Мамыров Э., Омуралиев М., Усупаев Ш.Э. Оценка сейсмической опасности территории Кыргызской Республики и приграничных районов стран Центральной Азии на период 2002-2005 гг. Бишкек, Изд-во Аль-Салам, 2002, 93 с.
4. Усупаев Ш.Э. Инженерно-геономическая модель Кыргызской Республики (Кыргызского Тянь-Шаня). Государственный реестр Кыргызской Республики объектов авторского права от 15.11.99 г. Кыргызпатент. Свидетельство №165. Бишкек, 1999 г. 18 с.
5. Усупаев Ш.Э. ИГН карта и геонот-модели типизации и прогноза георисков водного генезиса горных странах (на примере Кыргызского Тянь-Шаня). Международная научно-практическая конференция «Селевая безопасность: оценка, прогноз, защита» г. Алматы (Казахстан) 22-25 августа 2017 г. С. 25-30.
6. Усупаев Ш.Э., Мамыров Э.О. Сейсмогеономия новый путь развития наук о прогнозе землетрясений. Материалы Международной научно-практической конференции посвященной 25-летию Кыргызско-Российского Славянского университета имени Б. Ельцина и Дню Науки. Снижение рисков стихийных бедствий. Сендайская рамочная программа по снижению риска бедствий на 2015-2030 гг. Бишкек, 2018 С. 122 – 126.



**ПРИКЛАДНАЯ НООСФЕРНАЯ ЕДИНАЯ ТЕОРИИ ПОЛЯ ПАЛЕОПРОЧНОСТИ  
ЗЕМЛИ**

*Усупаев Ш.Э.*

**APPLIED NOOSPHERIC UNIFIED THEORY OF THE EARTH'S FIELD RE-  
SISTANCE FIELD**

*Usupaev Sheishenaly Eshmanbetovich*

**Аннотация.** В работе приведены прикладные основы разработанной ноосферной Единой теории поля палеопрочности Земли как субчасти небесных тел Мироздания. В связи с чем, представлены концепции образования Вселенной и ее субчастей, с позиций физической Единой теории поля. Приведены инженерно-геономические карты и модели строения гибридной изначально гидридной Земли имеющей 6 твердых ядер, где первичное твердое ядро вращается по орбите внутри жидкой планетосферы под углом 45 градусов вокруг геометрического центра на расстоянии от 500 км и более гравитационно вызывая геодеформации и выполняет функции ротора, а мантия и 5 твердых ядер планетоблем вращаясь играют роль статора образуя электро-магнитные поля и их экскурсы переманивая центральное ядро. Катастрофы и геориски трансформирующие планетосферы Геоида и ее субчастей регулируются внутри орбитальными движениями твердого ядра в ритмическом сопряжении с внешними орбитальными облетами Земли и Луны вокруг Солнца. На территории континентов и в океанах на островах всей планеты в т.ч. Евразии, Высокой и Центральной Азии, Кыргызстане необходимо создать сеть измерения естественных электро-магнитных импульсов исходящих из недр с помощью МГР 01-2 С для мониторинга орбиты движения твердого ядра и прогноза аналогично погоде подземных стихий в виде землетрясений и многоступенчатых индуцированных георисков природного характера.

**Ключевые слова:** единая теория, ноосферная инженерная геономия, поле палеопрочности, трансформация, геориски, ударные столкновения, небесные тела, планетоблемы, астероидоблемы, геоид.

**Annotation.** The paper presents the applied foundations of the developed noosphere Unified theory of the Earth's paleopotential field as a subpart of the celestial bodies of the Universe. In this connection, the concepts of the formation of the Universe and its subparts are presented, from the standpoint of the physical Unified Field Theory. Geotechnical maps and structural models of the initially hybrid hydride Earth with 6 solid cores are presented, where the primary solid core rotates in an orbit inside the liquid planetosphere at an angle of 45 degrees around the geometric center at a distance of 500 km or more and causes gravitational inert geodeformation and acts as a rotor while the mantle and 5 solid cores, planetary rotation, play the role of a stator forming electro-magnetic fields and their excursions magnetizing the central core. The catastrophes and georisk transforming the planetosphere of the Geoid and its subparts are regulated inside by the orbital movements of the solid core in rhythmic conjugation with the external orbital circuits of the Earth and the Moon around the Sun. On the continents and in the oceans on the islands of the entire planet, incl. In Eurasia, High and Central Asia, Kyrgyzstan, it is necessary to create a network for measuring natural electro-magnetic pulses emanating from the bowels with the help of MGR 01-2 C to monitor the orbit of the motion of the solid core and forecast similarly to the weather of the underground elements in the form of earthquakes and multistage induced georisks of a natural nature.

**Key words:** unified theory, noospheric engineering geonomy, paleoproof field, transformation, georisk, shock collisions, celestial bodies, planet problems, asteroid problems, geoid.

**Введение.** По академику Сергееву Е.М. и Друянову В.А. (1986 г., стр. 7) верхние горизонты литосферы – **основание**, есть часть **сферы разума**, следовательно, **инженерную геологию** (геологию окружающей среды) правомерно именовать **геологией ноосферы** – сферы разума. Инженерная геология непосредственно нацелены на сохранение фундамента геологической среды при ее неизбежной эксплуатации. Науки о Земле, сравнительной планетологии, космогеологии, инженерной и экологической геологии, геоэкологии сопряжены с изучением георисков трансформирующих планетосферы и способствуют развитию нового научного направления Ноосферной инженерной геонмии и Единой теории поля палеопрочности небесных тел (ЕТПЗ).

ЕТПЗ – наука изучает закономерности причинно-следственной природы генезиса небесных тел на примере Солнца, системы планет и Геоида как многокомпонентных динамических трансформируемых в поле палео-прочности и изменяющихся круговоротами полигрунтов гравитационных и электро-магнитных образований, в целях снижения георисков и обеспечения поли-безопасности человека [1-13].

**Методика.** Методологически для ЕТПЗ использованы парагенетические сопряженные между собой эволюционные и катастрофоведческие методы познания Мира. Используются способы и методы анализа, обобщения и систематизации данных геобъектов, инструментальных наземных измерений и дистанционных съемок, зондирований глубинного состава и строения, картирования, профилирования в разрезах, объемного моделирования, сравнительно-планетологического ресурсного, геофизического, геохимического типизирования георисков природного, техногенного и экологического характера [1 - 13].

**Результаты исследований.** ЕТПЗ базируется на концепциях генезиса Мироздания, где Земля и ее планетосферы есть продукт развития Вселенной и представляет ее жизне-населенную субчасть. Происхождение Мироздания в т.ч. Солнечной системы, небесных тел и Земли, даны в простых следующих сжатых и простых постулатах как древних, так и современных учений [13]:

а). Весь **мир**, Земля и ее субчасти как естественный жизне-обеспечивающий планетный - дом для биоты и человечества, состоит из **пустоты и атомов**. По ЕТПЗ атомы формируются из физических полей в пустоте при необходимом и достаточном проявлении во времени движущейся энергии рождающей из вихря тело (корпускулу) с появлением массы в качестве поля палеопрочности вещества.

б). **Материя и пространство**, в т.ч. Земля и ее пространство, есть по Платону: - **одно и то же**. В ЕТПЗ материя и пространство вне полей физических и поля палеопрочности лишены времени.

в). Земля и одновременно эквивалентное ее тело есть место, т.е. по Декарту - **место и тело эквивалентно**.

г). По Аристотелю **время** определяет движение будучи **его числом**, а **движение – время**, т.е. по ЕТПЗ при движении физических полей в поле палеопрочности материального тела с массой и достаточной устойчивостью к аннигиляции проявляется время. Происхождение Мироздания, в т.ч. солнечной системы, планет земной группы и Земли представлены нижеследующими моделями, где приведен состав компонентов из чего связан и построен Геоид и его субчасти [13]:

1. **Теория Большого взрыва (ТБВ)**. Не достаточно обоснованная сторона ТБВ. Сжимается объект в газовом состоянии, а гравитирующие небесные тела

не способны физически сжаться до сверхплотного единого тела размером  $10^{-6}$  см, плотностью  $10^{14}$  г/см<sup>3</sup>, где среда состоит только из голых нуклонов, а число их составляет  $10^{80}$  [13].

Во время Большого взрыва при равном количестве материи и антиматерии, Мир должен был аннигилировать, т.е. исчезнуть. Однако небольшая доля изначальной материи выжила и сформировала Вселенную, где по ЕТПЗ при движениях в определенное время в поле палеопрочности сформирована была Солнечная система и Земля.

**2. Квантовое зарядо-симметричное образование Вселенной.** Данная концепция предполагает, что Вселенная возникла из **вакуума-поля**. Не разработан механизм и причинно-следственные данные о генезисе материи, из какого субстрата сформировано было вакуум-поле, поэтому концепция теоретико-гипотетическая. По ЕТПЗ вакуум-поле, вне проявления полей физических и поля палеопрочности не формирует объемы и массы материальных тел [13].

**3. Модель стационарной эфири-динамической Вселенной.** По концепции Ацюковского В.А. мироздание состоит из газо-подобного эфира обладающего 7 свойствами: **а).** эфир имеется во всех структурах и явлениях; **б).** сохраняется эфир при любых преобразованиях; **в).** эфир бесконечно делим, эфир-1, 2, 3 и т.д. уменьшается в размере до бесконечности; **г).** аддитивность эфира; **д).** линейность эфира; **е).** неограниченность эфира; **и).** у эфира отсутствуют какие-либо предпочтительные масштабы или отрезки. Поле эфира, т.е. «физический вакуум» и/или «вакуумная жидкость» состоит из элементарных амеров пронизывающих всю Вселенную.

Амеры не имеют массы, а эфир состоящий из них есть строительный материал элементарных частиц, звезд и галактик. Силовые физические поля, есть формы движения эфира, и для этих полей вещество полупрозрачно. Чем плотнее вещество, тем более мелкую фракцию эфира способно поглощать. Свободный электрон есть винтовое вихревое кольцо сжатого эфира. Электрическое поле –совокупность винтовых вихревых трубок эфира [2, 13].

По И. Ньютону градиент плотности эфира в процессе перехода от тела в пространство **формирует тяготения**. Амеры составляющие эфир, частицы чрезвычайно малые и отталкиваются друг от друга, а в разреженной среде упруги, способны к расширению и давят на большие тела. Эфир Д.И. Менделеевым был включен в таблицу химических элементов в нулевую строку и назван «ньютонием», затем был изъят. Не принятый наукой «эфир» обоснован следующим открытием нуля элемент-квантона.

В 1996 году в теории Суперобъединения предложено решение проблем квантовой гравитации и искусственного управления тяготением. Восстановлен Леоновым В.С. нулевой элемент в таблице Д.И. Менделеева (атом вакуума Ньютоний). Новый элемент расположен в группе-0, ряде-0, масса-0. Без участия квантона не могут формироваться остальные химические элементы. Масса – это сгусток энергии деформированного пространства. В 2014 г. создан и испытан не реактивный квантовый двигатель КвД-1-2009 без продуктов сгорания подпитываемый электроэнергией, который взлетает с ускорением 10-12 (g). На смену старого механистического эфира, предложен новый электромагнитный эфир, как структуры вакуума из которого построена упругая и квазикристаллоидная электро-магнитная Вселенная [14].

В обсерватории Маунт Вилсон на высоте 1860 м интерферометром Миллер и его группа в 1925 г. осуществили более 100000 отсчетов и обнаружили, что скорость эфирного ветра составляет 10 км/с, а его направление не орбитальное, а галактическое, т.е. Земля обтекается эфирно-газовым потоком. Скорость эфирного на высоте 250 м над уровнем моря 3 км/с, на 1860 м – от 8 до 10 км/с, т.е.

скорость эфирного ветра нарастает с высотой. Скорость звука эфира в околоземном пространстве равна  $4,3 \cdot 10^{23}$  м/с, т.е. в  $10^{15}$  раз превышает скорость света, что соответствует расчетам Лапласа, где скорость распространения гравитации в 50 млн. раз превышает скорость света [2, 13].

В современном мире количество элементарных частиц варьирует – от 200 до 2000. Элементарные частицы трансформируются друг в друга. Все влияния космоса на Землю проходят через окружающий Землю эфир и исследования его динамики позволяют минимизировать негативные последствия природных и техногенных катастроф [2, 13].

А. Эйнштейн в 1916 г. в Общей теории относительности или, «теории гравитации» для решения **проблемы тяготения** произвольно допустил, что скорость распространения гравитации равна скорости света и что массы, помещенные в пространство, создают в нем гравитационный потенциал, искривляющий пространство, которое заставляет массы притягиваться, т.е. физический смысл гравитации был **заменен квази-геометрическим** [2, 13].

По Ацюковскому В.А. расширение Земли происходит из-за поглощения эфира, а спрединг – раздвигание материков и субдукция – вызваны наряду с расширением магмой, поглощением эфира из мирового пространства. Масса рифтовых хребтов Земли с участием эфирного вещества, имеет протяженность до 60 тыс. км. С позиций ЕТПЗ в эфирной среде пронизывающей Вселенную и его субчасти при преобразовании эфира в физические поля, вне формирования поля палеопрочности объемы и массы тел отсутствуют [2].

4. Концепция **Вселенная** супергигантский **квазикристалл**, который имеет додекаэдрическую объемную конфигурацию. Мироздание наряду с 4 % видимой материей одновременно на 74 % представлена скрытой темной энергии, а на 22% состоит из темной материи. Галлактика, Солнечная система и Земля входят в состав 4 % видимой материи Вселенной. С позиций ЕТПЗ, необходимым и достаточным, является высечение в пространстве узлов пересечения физических полей и формирования в концентрационных центрах иерархически само-организованных объемных интер-полисферационных квазисимметрических пара прима-тел для наполнения поля палеопрочности веществом [13].

5. Концепция существования **Множества миров** по антропоцентристскому принципу. Концепции Единой физической теории поля (ЕФТП) Кадырова С. не требует сжатия всего вещества и материи из ничего по теории (1) в единую сверхплотную «корпускулу», не ищет причин появления из ничего вакуум-поля по гипотезе (2), и получила математические и физические обоснования [6, 13].

В ЕФТП множества Миров Кадырова С. «Стандартные Модели физики частиц», где у каждой частицы есть её зеркальный партнёр, переносящий противоположный электрический заряд – частица антиматерии. Базируясь на указанных выше и ЕФТП Кадырова С. (1996) мной вводится понятие **поля палео-прочности (Р<sub>п-п</sub>)** для оценки устойчивости, податливости, деформационных, трансформационных свойств небесных тел Мира и его субчастей [6, 13].

Известные ранее пространственные силовые физические поля: а). ядерные сильные (мало- или близко-пространственные); б). электро-магнитные слабые (средне- пространственные; в) гравитационно-инертные от дальнего до бесконечно пространственного; дополнены г). биополем; д). духополем.

В пространстве перечисленные выше 3 физических и 2 ноосферных полей контролируются воздействием образующих время 3-ех прочностных полей. В Мироздании материя представляет собой подобие Суши, которая омывается Океаном антиматерии, разрушающей берега. Ударные столкновения материи и антиматерии формируют корпускулы и небесные тела, с проявлениями био- и

ноосфер. При аннигиляции происходит обнуление времени палеопрочности захлопыванием объема пространства занятого ранее телом электрона создававшего давление на окружающую эфирную среду, а в поле антипалеопрочности от объема исчезающего вместе с электроном позитрона.

Поля палео- и –антипалео прочности создают времена: а). нулевой фоновой переходной прочности т.е. мгновенного мерцающего времени; б). палеопрочности, содержащей кратко-, средне- и длительные по времени их концентрации в виде корпускул, небесных тел и связующих их силовых физических полей в направлении стрелы времени от молодости к старению; в). антипрочности, вариаций распада, преобразования течения и стрелы времени на обратных ход, от старения в сторону омоложения времени.

$R_{п-п}$  - есть проявившиеся в пространстве и времени сгустки поля в виде вещества обладающего прочностными и деформационными свойствами, напряженным состоянием возникшим с рубежа появления на свет данного конкретного объекта. Например, благодаря магнитным силам наша галактика, метагалактики и Вселенные вращаются каждая вокруг своего и в целом объединяющего их центра и оси как единое целое, не распадаясь. При столкновении частицы материи и антиматерии, аннигиляция дает вспышки исчезновений [13].

Нейтрино, элементарная частица, обладающая огромной проникающей способностью, оно пролетает сквозь Землю, Солнце и любые небесные тела и может принести нам информацию из недоступных мест центральной области Солнца и других звезд [1].

Стабильные частицы – это фотоны сгусток движущейся энергии, создают в пространстве вокруг себя поле, ввинчиваясь в пространство и нейтрино, массы которых равны нулю. Фотон имеет энергию, а у нейтрино равна нулю. Нейтрино, это кусок первичного поля пространства перемещающаяся в пространстве и обладающая всеми его свойствами. Согласно минимуму энергии и пространства протоны, нейтроны, электроны форма совместного существования, которые распадаются, на энергию – фотоны и куски поля - нейтрино. Во всех ядрах, атомах и веществе имеется сгустки свернувшегося первичного поля – нейтрино, обуславливающие энергию связи [1].

По концепции ЕТПЗ, энергия фотонов и куски поля – нейтрино действием физических полей зарождают пара-прима тела поля палеопрочности вещества.

В Единой физической теории поля (ЕФТП) - науке об эволюции и размерах Вселенной оценены число барионов  $A=10^{80}$ , масса Вселенной  $M=2 \cdot 10^{56}$  г, число звезд в Мироздании  $N_0=10^{23}$ , а его радиус  $R=10^{27}$  см. Единое поле, это гравитационное поле. За счет энергии рождаются физические поля и вещество имеющие массу полевого происхождения. Вихревое поле сил инерции с инертной массой рождает движение. Поле обладает силой упругости. Природа физических полей едина и векторна, пространство трехмерно и абсолютно, геометрия космоса евклидова. Заряд, есть единое, целое, полное, замкнутое образование полей. Управляет всем Миром гравитация, в т.ч. биополем создающим потоки импульсов фотонов [6, 13].

Ускорение свободного падения силы тяжести зависит от химического состава падающих тел. Антигравитация для позитрона и электрона, указывают на наличие поля сил инерции. Массы электрона и протона гравитационного генезиса, являются сгустками полей, спины которых связаны со структурой поля дискретно. Протон есть источник 3-ех взаимосвязанных полей: гравитационного, ядерного и электрического. Эффект гироскопа, показывает, что природа 2-ух полей электрического и гравитационного едина, а поле сил инерции – эфир. Эфир был подробно представлен в концепции выше. Взаимодействие реализуется

только через поле. Масса частиц есть сгусток поля. Инерция есть самоиндукция, с ростом скорости тел, инерциальность увеличивается [6, 13].

Оси Солнца, планет, системы Земля-Луна и небесных тел, совершают прецессии и проявляются как гироскопы, т.е. совершают прецессии где силы инерции и магнитных сил едины. Движущееся тело имеет поле Ньютона и вихревое поле с инертной массой [6, 13].

На планеты и вращение ее орбиты, действуют 3 силы: ньютоновская, спин-спиновая, спин-орбитальная. Солнце вращается вокруг оси за 27 дней, а его ядро за 12 дней, имеет квадрупольный момент, где возникает поле сил инерции. Солнце и планеты связаны спин-орбитальным взаимодействием.

В магнитном поле Солнца планеты движутся обладая орбитальным магнитным моментом, дающим вклад в перемещении перигелия планет за 100 лет для **Земли 3,8"**; Марса -1,3; Венеры – 8,6"; Меркурия – 43,02". Масса планет в т.ч. Земли изменяется в течение года и растут за счет веса магнитного поля, планеты пульсируют [6, 13].

Определенные спины составляют для: Солнца  $5,68 \cdot 10^{28}$  кг, Земли  $5,97 \cdot 10^{24}$  кг, Меркурия  $3,30 \cdot 10^{23}$  кг. Энергия связи тем больше, чем ближе планета к Солнцу и тем меньше спин. Мощные вспышки Солнца, скачкообразно увеличивают и изменяют угловую скорость Земли, вызывает магнитные бури, полярные сияния, а наибольшая частота землетрясений коррелируется с максимальной скоростью вращения Земли. Планет вращаются по орбите, по геодезической линии эллиптической формы указывающей, что силы инерции Солнца и планет действуют по радиусу. В районе афелия движения Солнца, планет и небесных тел параллельно и сила инерции направлена наружу против сил Ньютона. В перигелии силы инерции и Ньютона, направлены к центру и магнитные силы действуют по радиусу.

При увеличении скорости вращения Земли, возрастают инертная масса и масса планеты, сжимая планету и вызывая землетрясения и вулканические извержения. С 1640 по 1710 гг. на Солнце отсутствовали пятна, а на Земле господствовали суровые зимы. Спин Солнца составляет  $10^{49}$  эрг С, магнитный момент  $4,55 \cdot 10^{34}$  гс см<sup>3</sup>. При этом на поверхности Солнца напряженность магнитного поля составляет 1-2 гс, а на солнечных пятнах  $3 \cdot 10^3$  гс. Внутри земной орбиты напряженность магнитного поля Солнца составляет  $3 \cdot 10^{-5}$  гс. А напряженность магнитного поля  $1,3 \cdot 10^2$  гс [6, 13].

По ЕФТП землетрясения, есть проявление закона движения, где соблюдается причинно-следственная связь. Перед сильными землетрясениями появляются заметные деформации земной поверхности. Аномальное электро-магнитное излучение является предвестником землетрясения. Изменяется максимально скорость вращения Земли в июле и планета расширяется, а в январе из-за минимальной скорости облета сжимается, т.е. Земля пульсирует. Земля совершает колебательные движения и орбита планеты волнообразна.

Между магнитным полем и спином Земли есть прямая связь Бялко (1983). Магнитный момент Земли за 100 лет уменьшается на 5%. В 1830 году магнитный момент составлял  $8,50 \cdot 10^{25}$  гс/см<sup>3</sup>, а в 1965 г.  $8,01 \cdot 10^{25}$  гс/см<sup>3</sup>. Энергия осевого вращения магнитного поля на поверхности Земли равно  $3 \cdot 10^{26}$  эрг, а полная энергия  $6 \cdot 10^{26}$  эрг. Спин (угловой момент) для Земли составляет  $5,9 \cdot 10^{40}$  эрг сек, магнитный момент  $5,1 \cdot 10^{26}$  гс см<sup>3</sup>. Ежегодно угловая скорость Земли уменьшается на  $2 \cdot 10^{-10}$ , а длительность суток растёт каждый год на  $2 \cdot 10^{-5}$  [6, 13].

Из ЕФТП и ЕТПЗ видно, что проблемы сейсмологии, магнитологии, климатологии и геологии связаны с изменением массы Земли и иных исследуемых небесных тел [1, 2, 13].

Прочностные свойства материальных тел в т.ч. Земли и ее планетосфер, устойчивость их к разрушениям возникла в пространстве в изначальном прошлом времени, которая поныне трансформируется проявлениями георисков и преобразуется в новые состояния поля палеопрочности  $P_{1-n}$  вещества [13].

При воздействии грави-инертных сил действующих в условиях орбитального динамического равновесия между планетами - гигантами и планетами земной группы вместе с Солнцем, в ослабленном поле палео-прочности между орбитами Марса и Юпитера, палео-планета Фаэтон оказалась в резонансном пике и была разрушена в пояс астероидов. Астероиды могут быть снова объединены в единое тело, при появлении в данном поясе твердого супер-плотного ядра способного создать центр ударного столкновения небесных тел и их объединения в поле палео-прочности.

В ЕТПЗ получены моделированием (Рис. 1) объемные динамические и преобразуемые модели прима-тел планетосфер внешнего и внутреннего геокристаллического строения Земли, где они гомологически без нарушения сплошности входят как «матрешки» друг в друга образуя Геоид [6, 13].

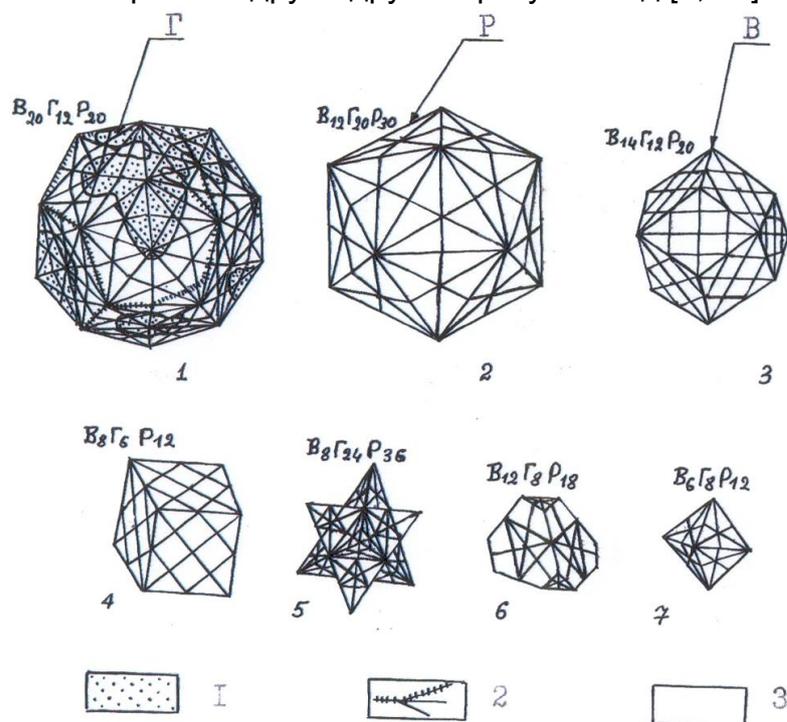


Рис. 1. НИГ модели объемные интер-полисферационные квазикристаллические строения пара-прима тела планетосфер Геоида. На рис. условные обозначения: Г. Грани геоэдра – НИГ противоположности; Р. Ребра геоэдра – НИГ переходы; В. Вершины геоэдра – НИГ отрицания; геоэдрические пара-прима тела 1.- пентагон додекаэдрическая литосфера и астеносфера; 2. - икосаэдрическая верхняя мантия; ромбододекаэдрическая средняя мантия; 4. – гексаэдро-звездчато –октаэдрическая нижняя мантия; 5.- тетраэдр-октаэдрическая усеченная стелла октангула Кеплера внешнее жидкое ядро; кубооктаэдро-октаэдрическое внутренние твердые ядра; октаэдрическое центральное твердое ядро.

**Дешифрирование ударных столкновений Земли с подобными небесными телами.** На картах современной спутниковой высокоточной гравиметрической съемки возвышения и понижения на Геоиде, есть следы древних ударных столкновений с планетоблемами. В ЕТПЗ по Ачкасову П.В (2006) Солнце имеет 4 рубежа формирования палео-прочности и состоит из гибридно объединенных различных палео-звезд. Светило внутри имеет вращающееся близ-центральное твердое ядро окруженное 4-мя меньшими ядрами от

ударно столкнувшихся палео-звезд. Ударное столкновение прото-Солнца с подобными звездами произошло по данным возраста метеоритов (10,6; 9,5; 6,6 и 4,65) млрд. лет тому назад (Рис. 2) [3, 13].

Планеты солнечной системы, также содержат внутри множество твердых ядер. Образование Земли происходило при резонансных сближениях орбит подобных планет вследствие 5 ударных столкновений, скачкообразно увеличивших объем и массу Геоида: 1. Б - Бразильская 4 млрд. лет тому назад (архей I), 2. К - Канадская 3,5 млрд. лет (архей II), 3. А - Арктическая 2,8 млрд. лет (афебий), 4. Те - Тетис 1,9 млрд. лет. (рифей) 5. Ти - Тихоокеанская от 0,67 0 млрд. лет (венд-фанерозой) (Рис. 2). При этом произошла катастрофическая трансформации георисками поля  $P_{1-n}$ . (палео-прочности) Земли [3, 13].

На рис.1 представлена НИГ карта закономерностей грави-инертного расположения эпи- и анти- подальных центров и дешифрирования следов ударных столкновений указанных выше планетоблем сформировавших поле палеопрочности Земли [3, 13].

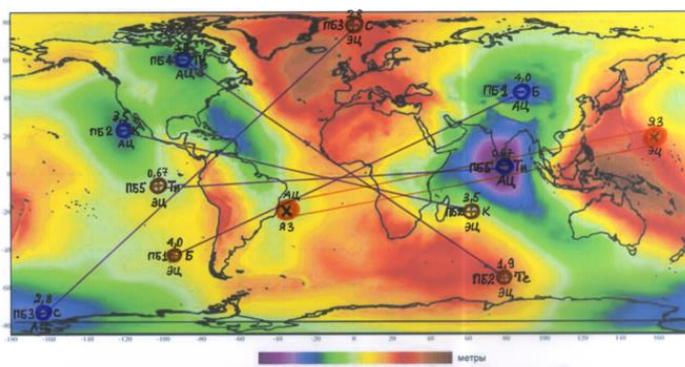


Рис. 2. НИГ карта закономерностей грави-инертного расположения эпи- и антиподальных центров планетоблем и дешифрирования следов ударных столкновений небесных тел сформировавших поле палеопрочности гибридной Земли.

После ударного столкновения Геоида с подобными небесными телами, Земля перескакивала в сторону падающей планеты на внешнюю к Марсу благоприятную для зарождения и привнесения жизни или внутреннюю высокотемпературную для жизни орбиту к Венере.

Наряду с объемными моделями для ЕТПЗ впервые разработана базовая и универсальная графо-аналитическая НИГ модель Земли латеральной по-широтной и по-долготной закономерности распределения интегрированных площадей поверхности континентов и океанов вынесенных на НИГ ось, где выявлены 6 максимальных пиков геонотов по широтного и долготного характера (Рис. 3) [3, 13].

Геоноты 3-ех территориальных максимальных площадей пиков экваториального характера находятся в интервале широт 30-35 град. с.ш. и доказывают первый пик причину происхождения пояса разломов, средний по величине геонот-пик имеет пологий спуск с севера на юг в интервале широт от 15 град. с.ш. до 15 ю.ш., т.е. грави-инертно обеспечивает устойчивость экватора Земли.

Геоноты акваториальности представлены 3 максимальными пиками, в интервале широт от 3 град. с.ш. до 25 ю.ш. обеспечивает грави-инертную устойчивость экватора Земли, второй по величине пик на широтах 30-35 град ю.ш. обосновывает наличие юного пояса разломов, наименьший пик находится на 85 град. с.ш. на геоноте территориальности Антарктики (Рис. 3) [3, 13].

Геоноты градиентов силы тяготения в  $P_{1-n}$  компонентой вертикальной силы тяжести и ее максимальным пиком сохраняют устойчивость экватора на

низких широтах, а 2 максимальных пика горизонтальных градиентов силы тяжести удерживают Землю от разрушения соответственно на 47-48 град с.ш. и ю. ш. (Рис. 3) [3, 13].

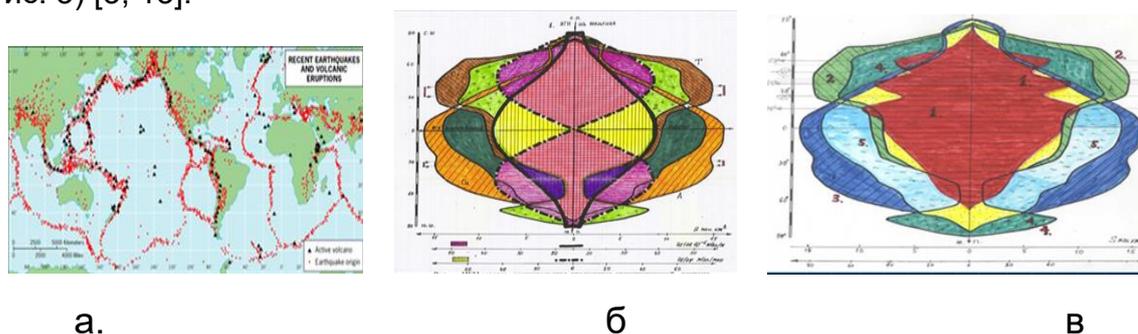


Рис. 3. НИГ модель закономерности латерального по-широтного распределения градиентов вертикального и горизонтального компонент силы тяжести Геоида (а); преобразования карты (б) считающейся конечным продуктом исследований на базе (а) в НИГ модель (в) по-широтной закономерности распределения генома вулканичности трансформирующей поле палеопрочности планетосфер Земли (в).

Карта распространения землетрясений и вулканов (Рис. 3-б) преобразована в НИГ модель (Рис.3-в) по-широтной закономерности распределения генома вулканичности трансформирующей поле палео-прочность Земли, где выделены 3 максимальных пика с их уменьшением с юга на север. Самый большой пик генома вулканичности на 15 град. с.ш. связан с переходом границы воздействия генома экваториальности в геомом территориальности, средний по величине пик на 35 град. с.ш. коррелирует с поясом разломов планеты, наименьший пик на 53 град. с.ш. контролирует границу перехода генома территориальности в геомом экваториальности (Рис. 3) [13].

НИГ модели (Рис. 3 а, в) позволяют с позиций  $P_{1-n}$  обосновать устойчивость и крепость от сейсмокатастроф и иных кризисов жизни планеты Земля и ее субчастей живущей в поле палеопрочности [13].

По НИГ ощутимые и катастрофические землетрясения происходят на 21 % поверхности нашей планеты, а 78 % их площади приходится на землетрясения акваторий, в т.ч. образующие цунами, а 22 % на суше образуют сейсмоопасные зоны. На рис. 4-а красным цветом выделены геомомы не глубокофокусных землетрясений Суши, которые имеют 2 максимальные пики на северном и 3 т.е. в 2 раза менее интенсивные пики на южном полушариях Земли. Не глубокофокусные землетрясения (Рис. 4-а) дна океанов показаны оранжевым цветом, где максимальные пики геомомов в при-экваториальной части Земли и в Северном полушарии показывают широты где происходит максимум трансформации литосферы. На рис. 4-а показан в виде круга геометрический центр планеты (3) вокруг которого вращается по орбите твердое ядро Земли внутри жидкого ядра по собственной орбите (4), жидкая планетосфера (5) [13].

На рис. (4-б) представлены закономерности распределения глубокофокусных землетрясений на поверхности Суши выделенные красным цветом. Геомомы с 4 максимальными пиками землетрясений интенсивно трансформируют Геоид, что указывает на низкие при-экваториальные южные широты Земли испытывающие максимальные трансформации от сейсмокатастроф.

На НИГ модели по-широтного распределения глубокофокусных землетрясений геомомы их максимальных пиков имеют 5 пиков (2 в южном и 3 в северном полушариях), а также экваториальные 7 пиков (2 в южном, 5 в северном полуша-

риях) (Рис. 4 б). Выше приведенные землетрясения трансформируют поля палео-прочности в пределах сейсмосферы с максимумом разупрочнения верхней мантии и подошвы океанической литосферы в низких от 7 град, до 18 град широтах южного полушария.

На рис. 4 (в, г) представлены НИГ модели типизации и прогноза геонотов сильных землетрясений, орогенности, территориальности и акваториальности на Земле и ее субчастях: в-Южного, г - Северного полушарий Геоида. На НИГ моделях 4 (в, г) выделены в виде «зевры» красного цвета геоноты сейсмичности, которые локализуют с позиций прогноза местоположения землетрясений, в южном полушарии 8 (г), а северном 6 пиков (в) которые полюсо- и экваторобежно трансформируют землетрясениями  $P_{1-n}$ . [13].

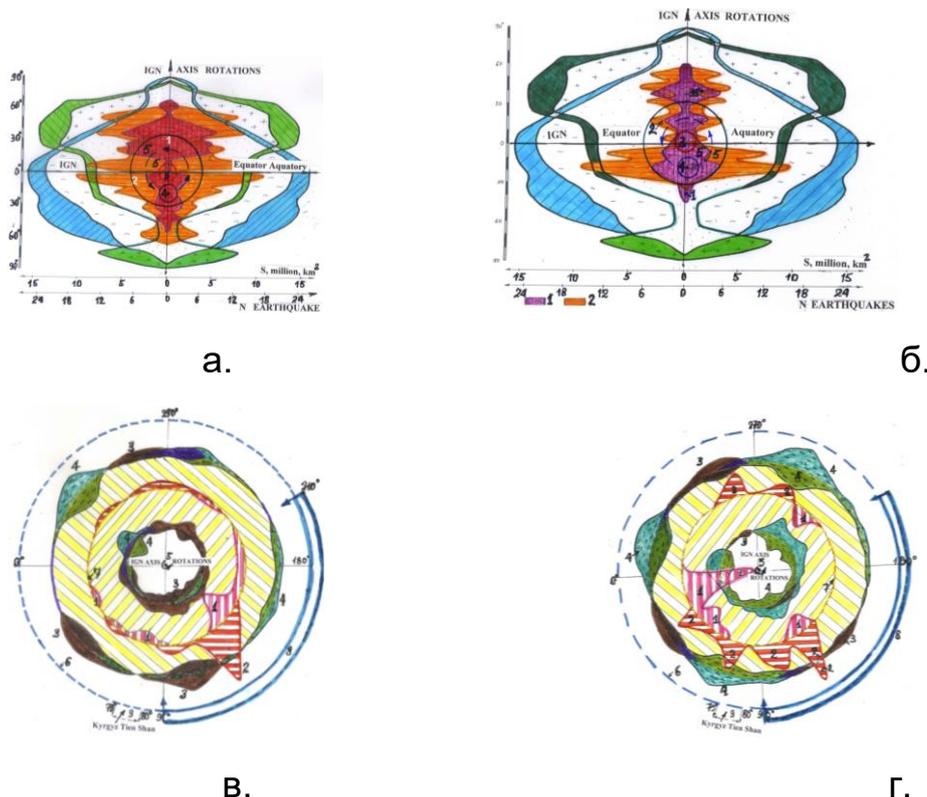


Рис. 4. НИГ модели закономерности интегрального латерального по-широтного (а, б) и по-долготного (в, г) распределения, типизации и прогноза трансформирующих литосферу геонотов: а. мелкофокусных, б. глубокофокусных, в. северо-полушарного; г. южно-полушарного георисков от землетрясений с учетом геонотов орогенности, территориальности и акваториальности на Земле и ее субчастях.

На рис. 4 (в, г) представлены НИГ модели типизации и прогноза геонотов сильных землетрясений, орогенности, территориальности и акваториальности на Земле и ее субчастях: в-Южного, г - Северного полушарий Геоида. На НИГ моделях 4 (в, г) выделены в виде «зевры» красного цвета геоноты сейсмичности, которые локализуют с позиций прогноза местоположения землетрясений, в южном полушарии 8 (г), а северном 6 пиков (в) которые полюсо- и экваторобежно трансформируют землетрясениями  $P_{1-n}$ . [13].

В мантии глубже 720 км. гипоцентры землетрясений не зафиксированы. При этом до 70 % землетрясений имеют гипоцентры глубиной очага до 60 км, а 30% до 700 км [5, 13].

По Ларину В. Н. при высоких температурах и давлениях  $n 10^{10}$  Па из атомных соотношений H/Me, металлы в недрах Земли аномально сжимаются в

объеме от 23 до 80 раз, из-за ионизированного водорода в виде голого протона размером  $10^{-13}$  см., что в 100 тыс. раз меньше атомов металлов и проникает глубоко в электронные оболочки, уменьшает радиус их атомов и уплотняет вещество. Планеты Солнечной системы и Земля сформированы по законам магнитной сепарации и концентрации ионизированного вещества [7, 13].

СОХ - срединно-океанические хребты южного полушария, по площади охвачены сейсмическими процессами в 2 раза активнее, чем океаны северного полушария. Суша северного полушария в 3,6 раз по площади более сейсмоактивна в сравнении с территориями южного полушария [13].

К НИГ закономерностям относится преобладание площадей сейсмически активных зон акваториальных над территориальными в северном полушарии в 1,4 раза, чем на южном в 10,4 раза. В прогностическом отношении их местоположения в 3,6 раз больше охвачена сейсмическими процессами океаны в сравнении с сушей. Сейсмоопасные площади охватывают 21 % поверхности планеты, из них 12 % сосредоточены в южном и оставшиеся 9 % в северном полушарии, что свидетельствует о том, что в 1,33 раза более активны сейсмические процессы в южном океаническом полушарии Земли. При принятии 21 % сейсмоопасных площадей за 100%, акваториальные сейсмоопасные зоны составляют в южном 52 %, и северном полушарии 25 %, а территориальные в южном 5 % и северном полушарии до 18 %. Трансформация литосферы землетрясениями  $P_{1-n}$  происходит по приведенным прогностическим координатам [13].

К НИГ основе подходят созданные модели Ежова Б. В. (1986), Худякова Г. И. (1974) геосистемно-пронизывающих недр от поверхности до ядра Земли на подобии «матрешки» с гипоцентрными силовыми энергетическими ячейками, иерархически соподчиненных мегаструктур центрального типа [5, 13].

В НИГ достижения наук о Земле, связаны с данными Григорьева С.М. и Емцова Е.Т. (1977) где землетрясения вызваны механизмом каскадных обрушений сводов выработанных в дренажной оболочки (ДО), где главным агентом формирующим глубинные пустоты внутри литосферных геокорств, является вода и подземные круговороты компонент поли-грунтов [4, 13].

На материках мощность ДО от 5 до 10 км., под горными областями от 15 и более км., под океанами 3 км. Гидростатическое давление ДО кровли литосферы на дне океана достигает 1 тыс. атм., а на континенте при мощности земной коры 30-60 км возрастает до 3-6 тыс. атм. Пористость в компонентах полигрунтов изменяется от 5% до 10% и более. Ежегодно в ДО Земли проникает до  $150 \text{ км}^3$  атмосферных вод, в виде 4-5 % раствора, этот флюидный поток выносит из коры материков до  $2,5 \text{ км}^3$  (5-6 млрд. т.) твердого вещества [4, 13].

Выходящие по геосферам от ядра Земли круглогодично ритмические геоволновые объемные деформации сжатия и растяжения, взаимодействуют с силами контактного торможения и зацепления корней орогенов и вергентных глубинных разломов, что усиливает сцепление литосферных плит с тонкой мантией и генерирует напряжения [13].

На рис. 5 представлена НИГ модель пяти ударных столкновений небесных тел сформировавших планетоблемы в поле палеопрочности гибридной полиядерной планеты Земля [3, 13].

На рис. 6 представлена НИГ модель природы и механизма проявления георисков вследствие орбитального импульсного вращения твердого близ-центрального ядра внутри жидкой планетосферы содержащего 5 прочных ядер планетоблем гибридной Земли [8, 13].

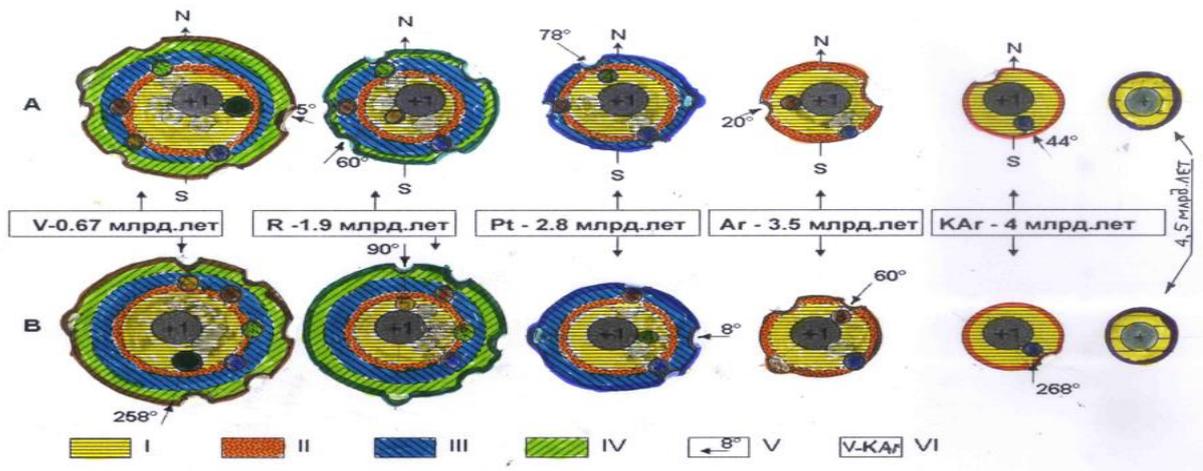


Рис. 5. НИГ модель ударных столкновений небесных тел сформировавших планетоблемы в поле палеопрочности Земли.

Гидрид-металлическое твердое ядро вращается по орбите внутри жидкой планетосферы под углом 45 градусов вокруг геометрического центра на расстоянии от 500 км и более гравитационно-инертно вызывая геодеформации и выполняет функции ротора, а мантия и 5 твердых ядер упавших на Землю небесных тел планетоблем вращаясь играют роль статора образуя электро-магнитные поля и их экскурсы перематывая центральное ядро [8, 13].

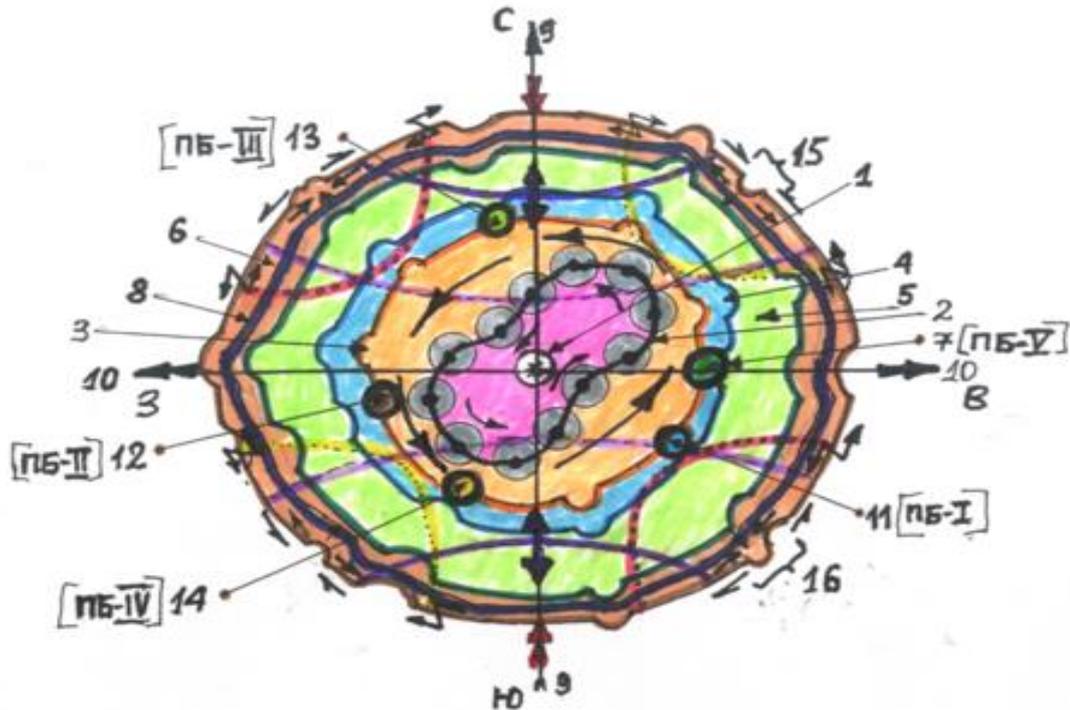


Рис. 6. НИГ модель природы георисков и механизма трансформации объемными геоволновыми ритмическими орбитальными импульсными вращениями (в форме 8) твердого близ-центрального ядра внутри жидкой планетосферы где на границе с нижней мантией размещены 5 приобретенных ядер планетоблем гибридной Земли

На рис. 7. Приведена составленная НИГ карта расположения сейсмогеономических мегаструктур центрального типа контролирующую концентрацию крупных месторождений полезных ископаемых (черные ареалы на НИГ карте) и индуцирующих многоступенчатые геориски трансформирующие гибридный Геоид. На НИГ карте (Рис. 7) ромбами желтого цвета выделены с позиций кон-

цепции Земля – геокристалл, наиболее опасные по георискам узлы планеты, которые контролируются кольцами активной сейсмичности, эпи- и антиподальными центрами планетоблем, границами литосферных плит, нулевой линией гравиметрической карты Геоида и планетарными разломами. Составление НИГ карт типизации и прогноза полезных ископаемых необходимы для типизации георисков и обеспечения металлами народного хозяйства.

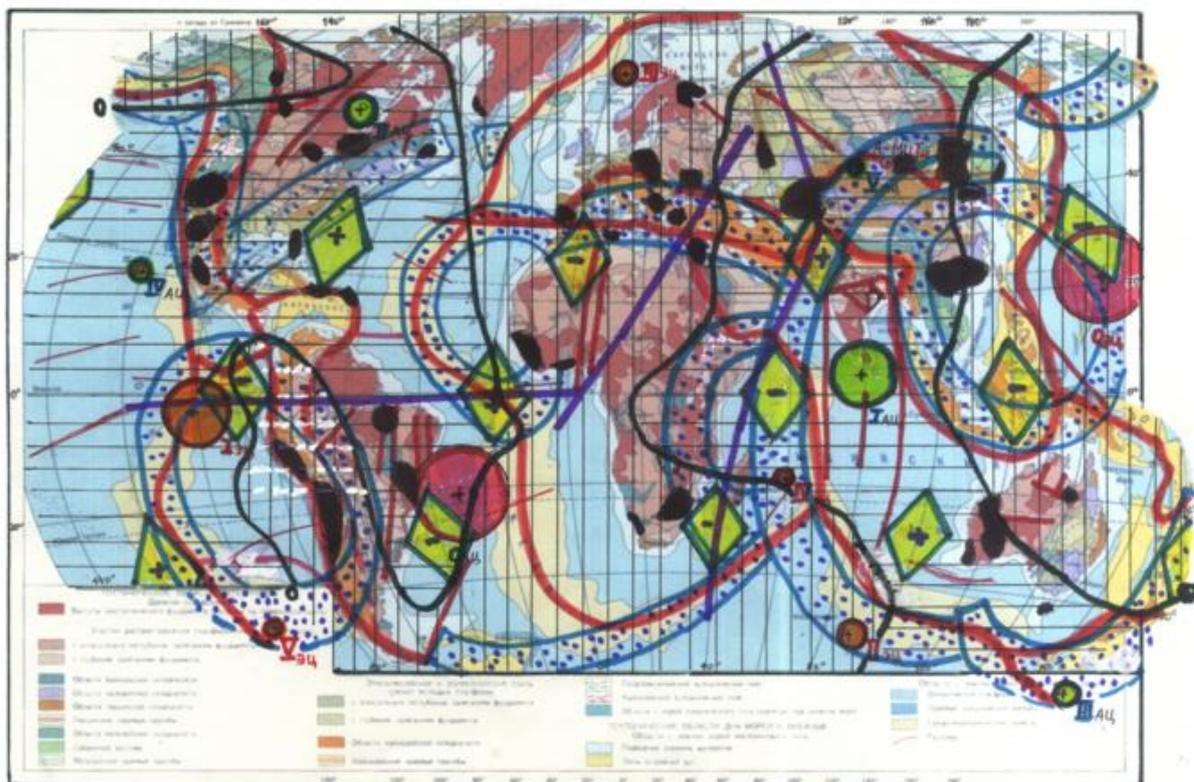


Рис. 7. НИГ карта закономерностей расположения сейсмогеомических мегаструктур центрального типа контролирующей концентрацию крупных месторождений полезных ископаемых и индуцирующих многоступенчатые геориски трансформирующие гибридный Геоид

На данной карте выделен красным кругом в правой части выше экватора – эпицентр ядра Земли, который движет кровлю и поверхность литосферы на юг к экватору. Восточнее Южной Америки красным кругом выделен антиподальный центр ядра Земли совпадающий с желтым ромбом, т.е активным узлом Земли – геокристалла.

Регион Высокой и Центральной Азии на данной карте находится в узле пересечения планетарных сейсмических мегаструктур центрального типа, здесь расположен желтый ромб активного узла Земли пересекаемый планетарным разломом меридионального простираения [13].

На рис. 8 представлена НИГ карта расположения месторождений углей, нефти и газа в связи с сейсмогеомическими мегаструктурами центрального типа индуцирующих многоступенчатые геориски трансформирующие гибридный НИГ карты прогноза полезных горючих ископаемых и георисков индуцированных при их освоении необходимы для экономического развития государств [13].

На рис. 9 представлена разработанная НИГ модель-разрез сейсмосферы и планетосферы Геоида, в развитие нового научного направления инженерной сейсмогеомии, изучающей природу землетрясений, вулканизма и цунами как георисков трансформирующих  $P_{1-n}$  на планете Земля и ее субчастях [13].

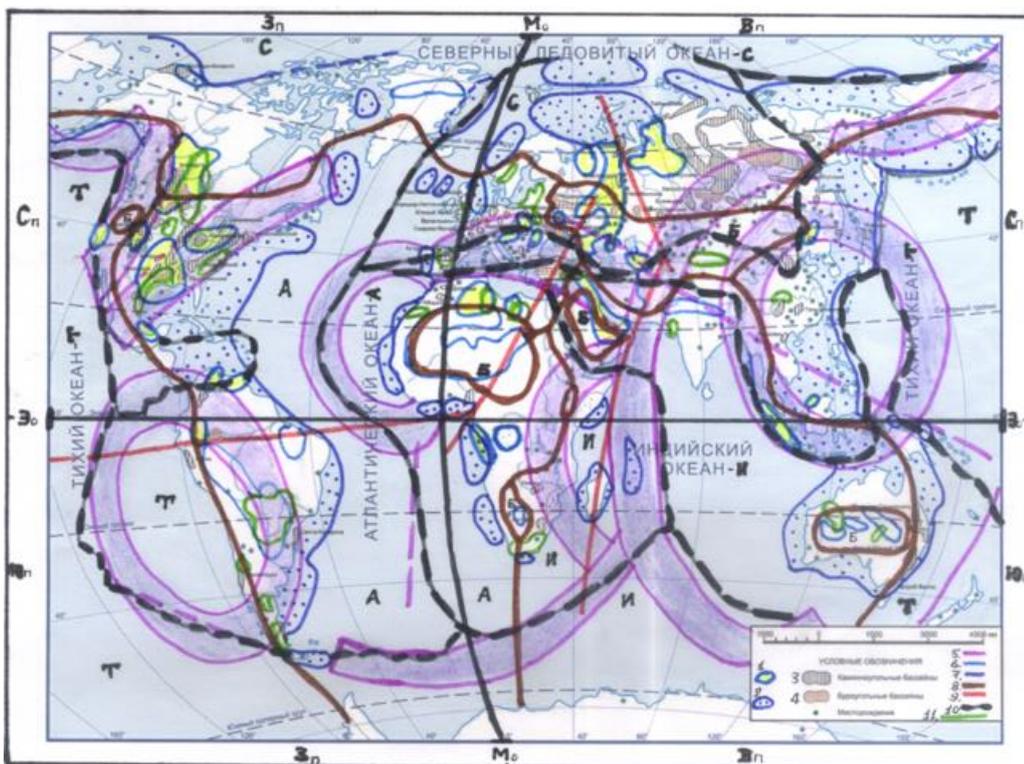


Рис. 8. НИГ карта закономерностей расположения месторождений горючих ископаемых углей, нефти и газа связанных с сейсмическими мегаструктурами центрального типа индуцирующими многоступенчатые геориск и трансформирующих гибридный Геоид

В НИГ разрезе на глубине 1593 км проходит барицентр, где Земля-Луна максимально грави-инертно связаны, и создают волны геодеформаций.

Одновременно выделены дренажные оболочки (ДО) формирующие круговороты компонент полигрунтов и рождающих граниты из базальтов аномальными геохимическими поведением воды ( $H_2O$ ) на глубинах от 6-7 до 60 км, аномальных свойств серы (S) на глубинах 250 – 300 км, аномалий ртути на глубинах 2400-2650 км. На материках мощность ДО варьирует 5-10 км., под горными областями от 15 и более км., под океанами 3 км. Гидростатическое давление ДО кровли литосферы на дне океана достигает 1 тыс. атм., а на континенте при мощности земной коры 30-60 км возрастает до 3-6 тыс. атм. Пористость изменяется от 5% до 10% и более.

Ежегодно в ДО Земли проникает до  $150 \text{ км}^3$  атмосферных вод, в виде 4-5 % раствора, этот флюидный поток выносит из коры материков до  $2,5 \text{ км}^3$  (5-6 млрд. т.) твердого вещества.

На НИГ модели (Рис.10) выделен стратифицированный горизонт с дренарующим эффектом глубинной подземной денудации и вноса из под континентов компонент полигрунтов под водоупорные базальтовые слои дна океанов, образующие круговороты базальтов и гранитов [4, 13].

В литосфере ДО способна создать геофильтрационную среду из пор, трещин и псевдо-карстовых пустот захлопывание которых создают каскадные землетрясения. В подошве литосферы реализует закон изостазии астеносфера прочность вещества которой содержащей 10-15% ювенильной воды равна 2 Мпа ( $20 \text{ кг/см}^2$ ) [4, 13].

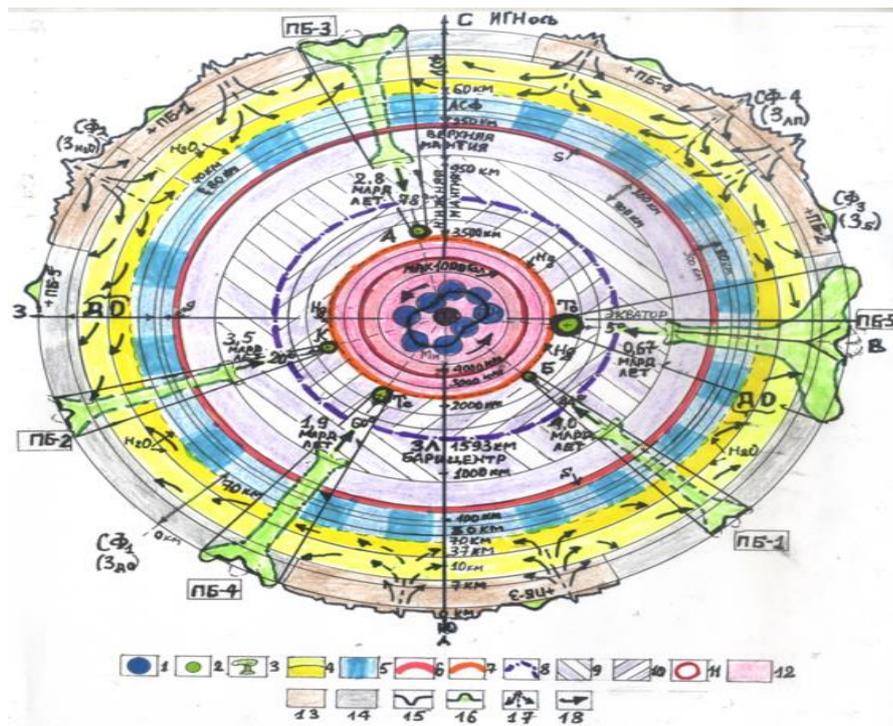


Рис. 9. НИСГ модель разрез сейсмосферы активизируемой ежегодным круговращением близ-центрального твердого ядра по орбите внутри жидкой планетосферы и трансформирующей  $P_{1-n}$  Геоида: 1. твердое ядро Земли совершающее ежегодно оборот под углом 45 градусов к Солнцу пересекая экватор, поднимаясь в северное и опускаясь в южное полушарие и формируя в сейсмосфере грави-инертные и электро-магнитные энергии и деформации; 2. координаты твердых ядер от произошедших 5 ударных столкновений Земли с иными подобными планетами; 3. глубинные следы от ударных столкновений (планетоблем); 4. дренажные слои и оболочки между границами Конрада и Мохо формирующие круговороты компонент поли-грунтов и воды с глубинными геокарстами вызывающими землетрясения при обрушении их кровли; 5. астеносфера; 6. дренажная оболочка формирующая землетрясения от компонент серной глубинной денудации в подошве астеносферы; 8. дренажная оболочка от компонент ртутной глубинной денудации на границе перехода подошвы нижней мантии в жидкое ядро; 8. глубина сферы грави-инертного взаимодействия Земли и Луны; 9. верхняя часть сферы нижней мантии подверженная глубинному грави-инертному воздействию системы Земля-Луна; 10. нижняя часть сферы нижней мантии подверженная грави-инертному и электро-магнитному воздействию орбитального вращения твердого ядра внутри внешнего жидкого ядра и 5 инопланетных твердых ядер ударного генезиса; 11. сфера максимального значения силы гравитации недр Земли; 12. жидкая планетосфера Геоида; 13. континентальная литосфера; 14. океаническая литосфера; 15. грави-инертные понижения на поверхности от притяжения твердых инопланетных ядер; 16. антиподальные от твердых ядер поверхности Земли с вздутием от дефицита сил грави-инертного притяжения; 17. направления движения воды проникающие сквозь разломы и выносящие в дренажную оболочку растворы; 18. направление вращения орбиты твердого ядра вокруг геометрического центра Земли; сокращения буквенные: ЗЛ – Земля-Луна, ПБ – планетоблемы (тела и ядра ударно упавших на Землю иных планет, сформировавшие гибридный Геоид); ДО – дренажная оболочка воды и ее компонент, аналогично S - ДО серы, Hg – ДО ртути и ее компонент; СФ – стратифицированная сейсмосфера и интервалы глубин ее размещения; АСФ- астеносфера; ЛСФ – литосфера.

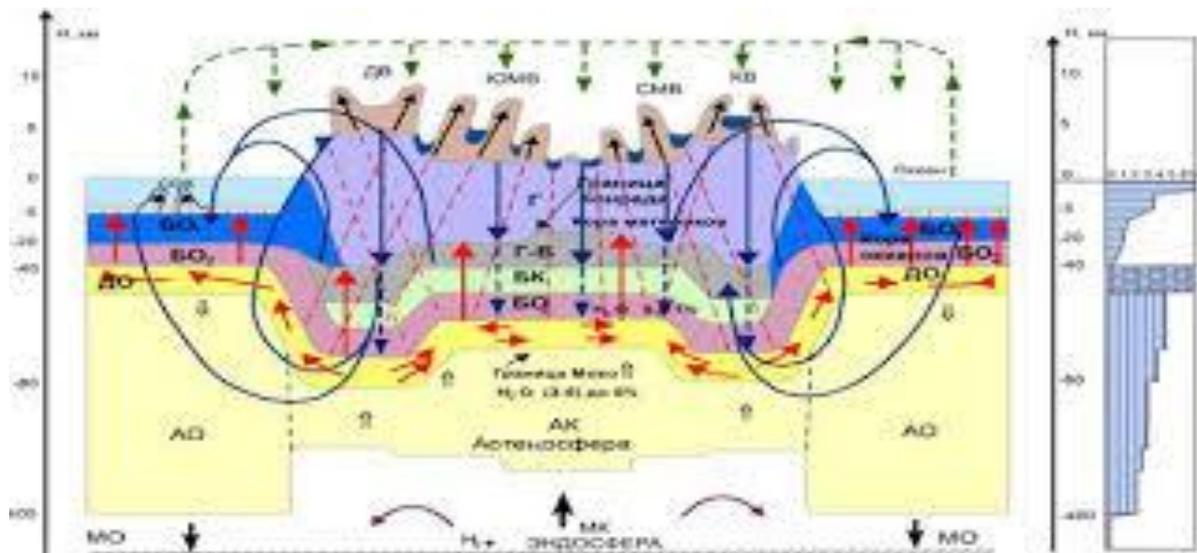


Рис.10. НИГ модель круговорота субчастей планетосферы, компонент полигрантов и воды по механизму ДО - дренажной оболочки на примере атмосферы, гидрогеосферы, гидросферы, криосферы, литосферы, астеносферы и эндосферы Земли. Компоненты полигрантов представлены: 1. горными сооружениями; 2. платформами; 3. океаны; 4. зоны гидратов на суше и газогидратов под океанами; 5. зоны нефтегазород; 6. дренажная оболочка круговорота вещества; 7. астеносферный слой. Направления круговорота и перемещения полигрантов: 8. подземных вод и их растворов в жидкой форме вертикально вниз в недра; 9. гидридов и флюидов в паробразной форме вертикально вверх; 10. латеральные миграции выносимых из под континентов компонент полигрантов под базальтовые планетарные водоупоры дна акваторий; 11. наземного круговорота в результате денудации и переноса грунтов в базисы эрозии на дно океанов и морей, 12. глубинного в подошве литосферы круговорота полигрантов из гидратированных океанических литоплит погружающихся и обезвоживающихся под континентами. 13. граница между тонкой и средней частями кровли литосферы; 14. красными стрелками в форме овала показаны круговороты компонент полигрантов в стратифицированных зонах: активного водообмена и круговорота компонент полигрантов с поверхности и от 2 до 16 км. в зоне влияния границы 4; замедленного круговорота компонент полигрантов и водообмена с 16 до 25 км., выше границы 13; круговорота компонент полигрантов на глубинах от 25 до 70 км., в форме высокоминерализованных флюидов, выше границы 6; круговорота полигрантов и водообмен в форме химически связанной и ювенильных вод, с плазмогенными компонентами на глубинах от 70 до 100 км и более.

В ЕТПЗ использованы экспериментально и инструментально обнаруженные впервые и оцененные Малышковым Ю.П. и др. (2000) (Рис.11), явления несимметричного вращения твердого ядра Земли вокруг геометрического центра планеты с наибольшими приближениями весной в апреле и осенью сентябре месяцах, и удалениями с максимумами орбитального смещения летом июле-августе и зимой в феврале месяцах. Более быстрое угловое вращение ядра в указанные выше месяцы года при взаимодействии с нижней мантией максимально раскручивает вращение оболочки Земли. При этом, угловая скорость вращения ядра превышает аналогичное вращение оболочки Земли от 1,1, до 0,3-0,5 градуса в год [8, 13].

По Малышкову Ю.П. и др. вследствие 2-ух типов вращений зона возмущения перемещается витками спирали по оболочке планеты с востока на запад и направлены по параллелям (Рис. 11).

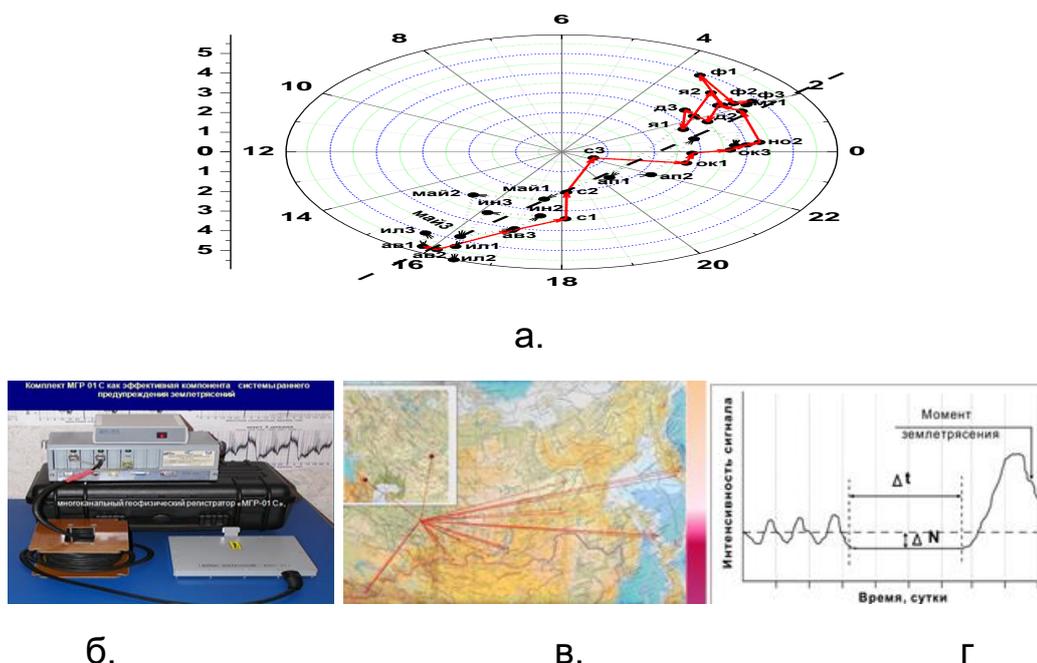


Рис. 11. Экспериментально мониторинговая инструментально измеренная многоканальными геофизическими регистраторами естественных электро-магнитных импульсов из недр станциями МГР-01 (б. г), трасса движения близ-центрального твердого ядра внутри жидкой планетосферы Земли в течение года (вид со стороны полюса) (а) и, сети мониторинга землетрясений (в) с фиксацией электро-магнитных импульсов землетрясений, как факта пульсационного орбитального смещения твердого ядра внутри жидкой планетосферы по углом 45 градусов от эклиптики Земли к Солнцу (см. рис.11-а)

Ровно через сутки в зависимости от того, в какое полушарие в это время года смещается ядро, каждый виток незначительно смещается относительно предыдущего к Югу или к Северу. В точке земной поверхности, в Северном полушарии, амплитуда напряжений максимальна летом и минимальна зимой, а в Южном полушарии сезонные изменения механических напряжений имеют обратные значения [8, 13].

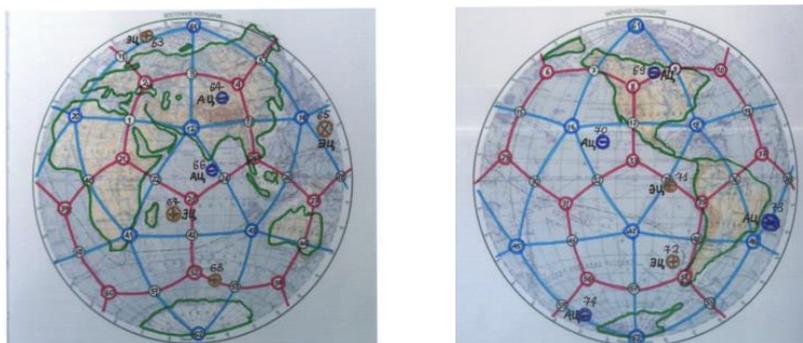
Направление движения ядра во второй половине августа меняется и начинает удаляться от Солнца, перемещаясь в ночную часть земного шара под углом  $45^\circ$  к направлению орбитального движения Земли вокруг Солнца. Ядро достигнет своего второго крайнего значения в конце февраля и процесс орбитального вращения сменит направление. Ядро вращаясь по своей орбите тормозит движение Земли по орбите и уменьшает радиус орбиты, при максимальной скорости движения по орбите в перигелии  $30,287 \text{ км.с}^{-1}$ , а минимальная в афелии  $29,291 \text{ км.с}^{-1}$ . Движение по своей годовой орбите твердого ядра внутри жидкой планетосферы то импульсно-ускоряется, затем замедляется. Твердое ядро Геоида вращаясь по собственной орбите в декабре месяце поднимается в северное, а в июле месяце опускается в южное полушария планеты, вызывая ритмичность и сезонность землетрясений, дегазации, дефлюдизации недр и реализации остаточных напряжений и проявления георисков (рис. 11) [8, 13].

В начале 1970- гг. Гончаровым Н.Ф., Макаровым В.А. и Морозовым В.С., была разработана модель Земли как гигантского геокристалла имеющего икосаэдро-додекаэдрическую структуру Земли (ИДСЗ).

Предлагается (Рис.12) создать новую эффективную и наукоемкую прикладную систему мониторинга на основе карты Земля - геокристалл, где геориски проявляются по особенному на гранях – противоположностях, ребрах – переходах и вершинах – отрицаниях. Размещение рекомендуемой мной мировой сети

мониторинга МГР 02 С в количестве 74 единиц требует затрат на приобретение станций 370 тыс. долл. США, что для Всемирного банка, Азиатского банка развития, ЮСАИД, ПРООН, ГЭФ и других грантодателей при их кооперации обойдется очень дешево. Сумма 370 тыс. долл. США также приемлемо также для проекта из источника финансирования по линии МНТЦ.

Требуемую сумму средств, для снижения рисков сейсмокатастроф и индуцированных бедствий возможно изыскать в региональных объединениях ЕВРАЗЭС, ШОС для обеспечения безопасности населения и устойчивого экономического развития.



а. восточное,

б. западное

Рис. 12. Планетарная система онлайн мониторинга за орбитальным импульсным круглогодичным движением твердого ядра внутри жидкой планетосферы состоящего из 74 станции МГР 02 С для предупреждения сейсмокатастроф и индуцированных ими георисков (а. восточное; б. западное) полушария Земли

Необходимые средства предлагается целевой статьей предусмотреть Советами безопасности стран и/или Мира в институтах ООН для служб МЧС в целях защиты населения, а также для усиления потенциала Институтов сейсмологии для повышения научного потенциала прогнозирования землетрясений в заинтересованных странах. Обеспечение работающей в режиме онлайн сети мирового мониторинга ежегодного орбитального вращения твердого ядра внутри жидкой планетосферы, повысят надежность и достоверность прогноза землетрясений, современных актуотектонических движений в кровле литосферы, предупреждения индуцированных многоступенчатых георисков природного генезиса (оползни, обвалы, прорывы плотин водохранилищ и дамб радиоактивных и токсичных хвостохранилищ).

ЕНПЗ в прикладном аспекте также базируется используемых в практике научных открытий в области наук о Земле. С ЕНПЗ открытие № 273 30 июня 1983 г. в гидрогеологии Вартапяна Г.С. и Куликова Г.В. – установлена закономерность явления гидрогеологического эффекта глобально проявляющихся быстротекающих (сутки – месяцы) пульсационных изменений в гидрогеосфере, связанный с особым видом глобального поля деформации литосферных блоков. Способность гидрогеосферы реагировать на изменения напряженного состояния литосферы, обуславливает постоянно происходящие ощутимые, сильные и катастрофические землетрясения [13].

Обосновывает ЕНПЗ также научное открытие №129 от 12 июня 1973 года академика Мавлянова Г.А., Уломова В.И., Султанходжаева А.Н., Хасановой Л.А., Горбушина Л.В., Тыминский В.Г., Спиридонов А.И., Мавашев Б.З., чл. корр. Хитарова Н.И, явления изменения химического состава подземных вод в гидрогеосфере предшествующее землетрясению, и после землетрясения в эпицентральной зоне, где возрастает концентрация микрокомпонентов (радон, гелий, аргон),

соединений фтора, урана и изменяется их изотопный состав. Область распространения подземной воды в земной коре простирается до 20-30 км, где на больших глубинах развиты сейсмические процессы, способствующие образованию зоны нарушения сплошности и раскрытия пор грунтов, усиливающих дегазацию, рост выщелачивания минералов, повышение скорости смешивания трансформируемых в тектоносфере глубинных и поверхностных вод [13]:

Связано тесно с ЕНПЗ открытие Айтматова И.Т. и Тажибаева К.Т., явления скачкообразного освобождения остаточных напряжений в горных породах базированы на концепции стационарных деформаций литосферных плит в пределах распространения вытянутых зон развития андезитового и базальтового магматизма генерирующие очаги тектонических горных ударов и землетрясений, где самопроизвольно и медленно происходит релаксация термомеханических генетических остаточных напряжений [10, 13].

ЕНПЗ связана с открытием Тажибаева К.Т., Тажибаева Д.К., Акматалиевой М.С. (закон Кушбакали) на закономерность изменения относительной величины скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны от механического напряжения в твердых материалах, где анизотропность и знакопеременность действующих напряжений в сейсмо- и ударо-опасных зонах обусловлена наличием неоднородного поля остаточных напряжений [11].

В прикладном отношении ЕНПЗ опирается на созданные Трапезниковым Ю.А. и его научной школой при НС РАН МГД полигонные в природной сеймотектонической среде многолетние эксперименты. Глубинные пуски МГД генераторами мощных электронных пучков в недра Бишкекского геодинамического полигона достигали подошвы литосферы.

В Северном Тянь-Шане МГД пуски позволили управлять сейсмическим режимом тектоносферы в радиусе 100-150 км, где за последние 25 лет 15-го класса землетрясений не наблюдалось, т.к. они были принудительно снижены на сотрясения 12-го класса [12, 13].

На рис. 13 приведена разработанная НИСГ шкала оценки землетрясений. На НИГ шкале осуществлена перекалибровка известных в мире 3-ех типов шкал сейсмичности в процентное соотношение, это интенсивности землетрясений (4), магнитуды (5), энергетического класса землетрясений (6), значения времени сотрясения (1), скорости грунтов (2) и ускорений в силе тяжести (3).



Рис. 13. ИСГН шкала оценки землетрясений сейсмосферы: категории уязвимости I-Б бедствия, II-К кризиса, III-Д дискомфорта; P<sub>1-6</sub> степени риска; a, b, d уровни опасности; 1-12 сравнительная шкала интенсивности землетрясений в баллах; t, сек продолжительность максимальных колебаний; V, см/сек максимальные (средние) скорости грунта; g, см/сек<sup>2</sup> ускорение силы тяжести; J интенсивность в баллах; M магнитуда; K 10<sup>17</sup> энергетический класс землетрясений.

На разработанной 13 мерной НИГ шкале впервые выявлено, что шкала МСК-интенсивности силы землетрясений - J, магнитуды- M и энергетических классов K, совпадают по величине только при 12 баллах сотрясений, а при уменьшении их энергии и силы разнятся от 8 до 40 %.

Из НИГ шкалы видно, что К-шкала завышает ошибки при измерениях сейсмичности от 0 до 32 %, J –шкала занижает до 32 %, а М-шкала усредняет ошибки до 17 %. Соответственно для землетрясений 11 баллов интервалы вариации ошибок варьируют до 8%, 10- 12%, 9- 14%, 8- 16%, 7- 20%, 6- 22%, 5- 24 %, 4- 28%, 3- 31 %, 2- 33% и 1 балл на 45 %.

Поэтому шкалы оценки землетрясений требуют с позиций НИГ перенормировки и нового обоснования [13].

На рис. 14 приведена НИГ 12 мерная шкала типизации и прогноза стихийных бедствий и катастроф быстрого и медленного характера для принятия ответственных решений уполномоченными структурами [13].

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОНОМИЧЕСКАЯ (ИГН)  
УНИФИЦИРОВАННАЯ НОРМАТИВНАЯ ШКАЛА ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

ИГН шкала	КАТЕГОРИИ УЯЗВИМОСТИ (КУ)											
	I. БЕДСТВИИ				II. КРИЗИСА				III. ДИСКАМФОРТА			
	СТЕПЕНИ РИСКА (С Р)											
	1. Катастрофически большая		2. Бедственно-большая		1. Кризисно-большая		2. Предельно-большая		1. Дискампортно большая		2. Дискампортно малая	
ИГН индикаторы	УРОВНИ ОПАСНОСТИ (УО)											
	а. Катастрофически высокий	в. Бедственно-высокий	с. Уничтожающе-высокий	д. Опустошительно-высокий	а. Кризисно-высокий	в. Разрушительно-высокий	с. Очень высокий	д. Высокий	а. Средний	в. Умеренный	с. Низкий	д. Регистрируемо-низкий
Универсальная шкала категорий стихийных бедствий (С Б) по Радкину М.В. и Шебалину Н.В.(1993) с изменениями и дополнениями Усупаева Ш.Э.(2009).												
Название (С Б)	Всемирное	Межконтинентальное	Международное	Межгосударственное	Национальное	Региональное	Межрайонное	Районное	Местное	Местное	Семейное	Индивидуальное
Н.чел.- число погибших	от 301 млн. до 3 млрд.	от 31 млн. до 300 млн.	от 3,1 млн. до 30 млн.	от 301 тыс. до 30 млн.	от 31 тыс. до 300 тыс.	от 3,1 тыс. до 30 тыс.	от 301 до 3 тыс.	От 31 до 300	от 3 до 30	от 1 до 3 (редко)	до 1 (редко)	жертв нет
Ц.долл. США ущерба при медленных ЧС (цены 1991 года)	от 6 трлн. до 60 трлн.	от 601 млрд. до 6 трлн.	от 61 млрд. до 600 млрд.	от 6,1 млрд. до 60 млрд.	от 61 млн. до 6 млрд.	от 6 млн. до 60 млн.	от 601 тыс. до 6 млн.	От 6,1 тыс. до 600 тыс.	От 1001 до 6 тыс.	от 100 до 1000	От 250 до 100	менее 100
Ц.долл. США, ущерба при быстрых ЧС (цены 1991 года)	от 1,5 трлн. до 15 трлн.	от 151 млрд. до 1,5 трлн.	от 15,1 млрд. до 150 млрд.	от 1,51 млрд. до 15 млрд.	от 15,1 млн. до 1,5 млрд.	от 1,51 млн. до 15 млн.	от 151 тыс. до 1,5 млн.	От 15,1 тыс. до 150 тыс.	От 501 до 1,5 тыс.	от 101 до 500	От 50 до 100	менее 50
Категории С Б	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Уровень принятия административного решения	ООН, Совет безопасности	Советы межконтинентального объединения стран	Советы Международного объединения стран	Советы Межгосударственного объединения стран	Правительств стран	Главы Региональных Администраций	Главы Межрайонных Администраций	Главы Районных Администраций	Главы Местных Администраций	Главы Местных Администраций	Главы семей	Индивидуальности

Рис. 14. Ноосферно инженерно-геономическая 12 мерная международная шкала типизации и прогноза стихийных бедствий и катастроф быстрого и медленного характера для принятия ответственных решений уполномоченными структурами в Мире

### Выводы.

1. Создана основа Ноосферной прикладной Единой Теории палеопрочности Земли (ЕТПЗ), для типизации и прогноза георисков трансформирующих планетосферы.
2. Земля, является сформированным ударными столкновениями подобных и соразмерных инопланетных тел гибридом, которые в разные рубежи геовремени трансформировался георисками от землетрясений, цунами, вулканизма в поле палео-прочности Геоида и ее сеймосферы.
3. Ежегодные орбитальные пульсационные движения твердого ядра вокруг геометрического центра Земли, возмущают поле палео-прочности планетосфер Геоида георисками выходящими на поверхность в форме объемных периодически бегущих волн сейсмо-геодеформаций, грави-инертного и электро-магнитного генезиса.
4. Фазовые эффекты глубинных критических аномальных поведений по механизму дренажной оболочки (воды, серы и ртути), совершают глубинные круговороты полигрантов планетосфер, преобразуя плиты континентов и океанов Геоида, рождают граниты и базальты с их взаимопереходами, образуют нефтегазоруды и геориски трансформирующие поле палео-прочности Земли.
5. Составлена первая НИСГ карта и модель-разрез сеймосферы Земли с рекомендуемыми пунктами размещения мировой системы мониторинга и прогноза землетрясений и для наблюдения за трассой орбитального круглогодичного оборота и импульсного смещения твердого ядра внутри жидкой планетосферы создающей ритмичность сезонных пиков сейсмкатастроф.

6. Территория Высокой и Центральной Азии расположена в условиях трансформации георисками планетосфер контролируемой антиподальным центром Бразильской планетоблемы расположенной северо-восточнее Кыргызского Тянь-Шаня в северной части Таримской плиты Китая. Данный регион расположен на границе столкновения Евразийской и Индо-Австралийской литосферных плит. Здесь находится узел пересечения 2-ух планетарных наиболее крупных сейсмически активных мегаструктур центрального типа, которые дополнительно рассечены границами региональных литосферных блоков сопряженных с надрегиональными разломами и эпицентрами произошедших разрушительных сейсмокатастроф.

7. Землетрясения сильные и разрушительные в прогностическом отношении сконцентрированы в их сезонных пиках активизации март-апрель (весенний), июль-август (летне-осенний), декабрь-январь (зимний).

8. Высокоточный прогноз сейсмокатастроф и индуцированных ими многоступенчатых георисков в сейсмо-опасной стране требует в бюджете предусмотреть средства на размещение прогностической сети МГР-02 С для слежения за орбитальным движением твердого ядра Земли. Стоимость 1 станции в пределах до 5 тыс. долл. США.

#### Литература

1. Адаев У.Ж. «Новые доказательства в современной теории гравитации», «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2009, вып. 11, стр. 60, printed in USA, Lulu Inc., ID 6334835, ISBN 978-0-557-05831-0.
2. Ацюковский В.А. Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. Издание второе. М.: Энергоатомиздат, 2003. 584 с.
3. Ачкасов П.В., Усупаев Ш.Э. Гипотеза ударного преобразования планет Солнечной системы на примере Земли. Материалы международной конференции «Подготовка к чрезвычайным ситуациям и реагирование на риски экологической безопасности в Центрально-Азиатском регионе». 18-19 декабря 2000 г. Бишкек, С. 139-145.
4. Григорьев С.М., Емцев Е.Т. Скульптор лика Земли. Изд-во «Мысль» М., 1977. 192 с.
5. Ежов Б. В. Морфоструктуры центрального типа Азии. Москва: Изд-во «Наука», 1986. 134 с.
6. Кадыров С. Анализ некоторых фундаментальных вопросов естествознания в свете теории Единого поля (теория физического мира). Бишкек «Илим» 1996. 128 с.
7. Ларин В. Н. Гипотеза изначально гидридной Земли. М.: Изд-во «Недра», 1980. 216 с.
8. Малышков Ю. П., Малышков С. Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра Земли. // Геология и геофизика, 2009. Т. 50. №2. С. 152-172.
9. Сергеев Е.М., Друянов В.А. Человек и геологическая среда. -М.: сов. Россия, 1986. - 80 с.
10. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. (Том.1) Бишкек. Алтын Принт-2016, 352 с.
11. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. (Том.2). Бишкек: Алтын Принт-2016, 357 с.
12. Трапезников Ю.А., Андреева Е.В., Баталев В.Ю., Бердичевский М.Н., Ваньян Л.Л., Вольхин А.М., Голубцова Н.С., Рыбин А.К. (1997) Магнитотеллурические зондирования в горах Кыргызского Тянь-Шаня. Физика Земли. (1), 3-20.
13. Усупаев Ш.Э. Единая ноосферно-инженерно-геономическая теория Земли. Научно-теоретический Журнал: Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана №11, 2015. С. 24-38.
14. Leonov V.S. Quantum Energetics: Theory of Superunification. Viva Books, India, 2011, 732 pp.

## SESSION 2 / СЕКЦИЯ 2

### МОНИТОРИНГ, ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ВЛИЯНИЯ НА НИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

#### ВРЕМЕННАЯ ШКАЛА НЕДОЛГОВЕЧНЫХ (ПЕРЕСЫХАЮЩИХ) ОЗЕР В СЕ- ВЕРНОЙ ЧАСТИ ХРЕБТА ТЕРСКОЙ АЛА-ТОО

*Даиров Милан, Нарама Чуйико*

#### TIMING OF APPEARANCE OF SHORT-LIVED LAKES IN THE NORTHERN PART OF THE TESKEY RANGE

*Daiyrov Mirlan, Narama Chiyuki*

**Аннотация:** В 2006-2014 гг. В хребте Терской Алатао произошло несколько крупных дренажей из недолговечных озер. Большие дренажи возникают из-за закрытия и вскрытия ледяного туннеля, который образовался внутри обломков рельефа на фронте ледника. Чтобы понять дренажную систему недолговечного озера, мы исследовали время появления недолговечных озер в северной части хребта Терской Алатао, используя спутниковые изображения в 2013-2018 годах. Мы определили 160 недолговечных озер, из которых 42 озера возникли весной (май-июнь) и 118 озер появились летом (июль-сентябрь) в течение 2013-2018 гг. Все недолговечные озера появляются на обломках рельефа, включая погребенный лед, когда ледяной туннель закрывается из-за замерзания запасенной воды внутри ледяного туннеля в зимний период (тип замерзания) или блокирования разрушения смешанного льда (тип разрушения). Появившиеся весной недолговечные озера могут быть типа замерзания-коллапса, озера, появившиеся в течение таяния лета, могут быть типа коллапса. Из 160 короткоживущих озер 30 озер (6 весной и 24 летом) были повторены в течение шести лет. Некоторые из них изменили свой тип (замораживание-разрушение) в течение шести лет. В ходе полевых исследований изменения уровня воды в ледниковом озере Кормуду в течение 2016–2017 гг. Показали, что озеро коллапсирует и появилось в середине июля. Суточный расход ледникового озера был довольно небольшим.

**Ключевые слова:** ледниковое озеро, недолговечное, ледяной туннель, замерзание, разрушение, спутниковое изображение.

**Annotation.:** Several large drainages from short-lived lakes occurred in the Teskey Range in 2006-2014. The large drainages are caused due to closure and opening of ice-tunnel which developed inside of debris landforms at glacier front. To understand a drainage system of the short-lived lake, we investigated the timing of appearance of the short-lived lakes in the northern part of the Teskey Range using satellite images in 2013-2018. We identified 160 short-lived lakes, out of which 42 lakes appeared in spring (May-June) and 118 lakes appeared in summer (July-September) during 2013-2018. All short-lived lakes appear on the debris landforms including buried ice when ice tunnel closes due to freezing of stored water inside of ice tunnel during winter (freezing type) or the blockages of collapse of the debris-mixed ice (collapsing type). The short-lived lakes appeared in spring might be freezing-collapsing type, the lakes appeared during melting season of summer might be collapsing type. Among of the 160 short-lived lakes, 30 lakes (6 in spring and 24 in summer) had been repeated

over six years. Some of them changed their type (freezing-collapsing) during six years. In the field survey, the changes of water level at the Kormudu glacial lake during 2016-2017 showed the lake was collapsing type, which appeared in mid-July. The daily discharge of the glacial lake was quite small.

**Key words:** glacial lake, short-lived, ice tunnel, freezing, collapsing, satellite image.

**1. Introduction.** Compared to the proglacial lakes in the eastern Himalayas [1, 2, 12], the glacial lakes in the northern Tien Shan are quite small and experiences a short living and sudden drainages [15, 18]. The northern part of the Teskey Range experienced four large drainages from glacial lakes between 2006 and 2014 [18]. Narama et al. [15, 18] and Daiyrov et al. [5] refer to them simply as the “short-lived type” of glacial lakes that drastically grow and drain within a few months. Although the short-lived type is also called as “non-stationary lake” [8], non-stationary includes meaning of long or short living.

The short-lived lake has large seasonal variations [5]. The lake increases rapidly when the subsurface channels inside debris landforms including buried ice are blocked [18], such as supra-glacial lakes on debris glacier [3, 7, 17]. Such lakes episodically fill before their drain abruptly, and the drainage occurs subsurface channels at the level of the dam [9, 10]. A drainage processes and scale are extremely unpredictable [8], because their area and volume change drastically for short period.

Although previous studies reported that recent expansion of glacial lakes are related to recent climatic warming and glacier shrinkage [4, 5, 11, 19] indicated no direct relations of glacial lake variability in the Issyk-Kul Basin, compared with local climate or glacier recession. The lake variations are related to regional geomorphological conditions such as the closure and opening of ice tunnel. To understand drainage system of short-lived lake, we researched the timing of appearance of short-lived lakes using satellite data.

**2. Study area.** The study area is the northern part of the Teskey Range, Issyk-Kul Basin (Fig. 1). Elevation range of glaciers is 3700-4200 m in the western part of the Teskey Range, and 3800-4500 m in the eastern part. Average annual precipitation during 1981–1991 is 363 mm in Karakjur meteo-station of the western part, 247 mm in Tien Shan station of the central part, and 597 mm in Chon-Kuzylsuu station of the eastern part [16]. Annual precipitation is higher in the eastern part of the Teskey Range. Recent climate conditions have influenced to glacier shrinkage [13, 14]. The glacier-moraine zones are located in 3200-4000 m in the northern part of the Teskey Range. The glacier-moraine complex (debris landform including ice) at glacier front developed during the Little Ice Age [6]. In this area, four large drainages from short-lived glacial lakes occurred at the Kashkasuu (2006), western Zyndan (2008), Jeruy (2013), and Karateke (2014) glacial lakes [18].

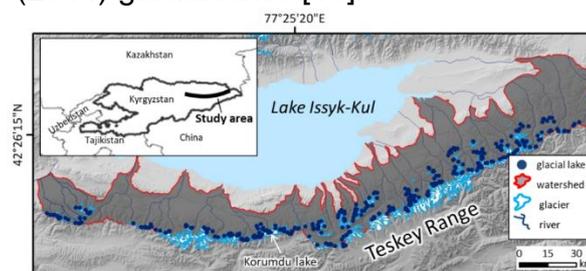


Figure 1. Study area of the northern part of the Teskey Range, showing distribution of glaciers and glacial lakes.

**3. Methods. 3.1. Timing of appearance of short-lived lake using satellite data.** Short-lived glacial lakes are identified using Landsat7 ETM+, Landsat8/OLI and Sentinel-2 satellite images in 2013-2018. We defined a short-lived lake according to its seasonal area changes from June to October of each year [5], and classified the lakes into the timing of spring or summer when the lakes appeared. Sentinel-2 (10m spatial resolution) can provide more frequent image data of lake area changes. Because Sentinel-2 has high revisit time, i.e. 10 days at the equator with one satellite, and 5 days with 2 satellites under cloud-free conditions which results in 2-3 days at mid-latitudes (European Space Agency, 2015). We used 2, 3, 4 and 8 bands with 10 m resolution to extract short-lived lake. In addition, we used pan-sharpened images (15 m resolution) of Landsat 7 and Landsat 8/OLI satellites. Total 90 satellite images (Sentinel-2, Landsat 7 and 8/OLI) were used in 2013-2018. Polygon shapefiles of lakes are created manually from these satellite images.

**3.2. Field survey of the Kormudu lake.** We investigated the variation of lake level at the Kormudu lake during 2016-2017 using water logger (Hobo U20) and interval camera (Fig. 1). To understand the thermal condition, we set air and ground temperature data loggers near the lake. In addition, we acquired aero images using UAV (Phantom-4) to understand surface changes around the lake. High-resolution ortho and DSM data were created with 0.2 m x 0.5 m using Pix4D Promapper. We calculated water discharge from a lake volume.

**4. Results. 4.1 Timing of appearance of short-lived lakes.** We identified 160 short-lived lakes, which 42 lakes appeared in spring and 118 lakes appeared in summer during 2013-2018 (Fig. 2). We classified 160 short-lived lakes into the timing of spring (May-June) or summer (July-September) when the lake appeared each year. We identified 10 lakes appeared in spring and 14 lakes appeared in summer 2013, 3 lakes in spring and 8 lakes in summer 2014, 6 lakes in spring and 7 lakes in summer 2015, 11 lakes in spring and 15 lakes in summer 2016, 10 lakes in spring and 42 lakes in summer 2017, 2 lakes in spring and 32 lakes in summer 2018. The timing of lake appearance differed for six years. The number of short-lived lakes decreased in 2014 and increased in 2015, and then the maximum was in 2017.

29 lakes (6 in spring and 23 in summer) of 160 short-lived lakes had been repeated over six years. Although some of them appeared in both season (spring and summer), most lakes appeared in summer. Some of them changed the season of appearance in each year as the following: new appearance: spring or summer, non re-appearance: spring or summer, re-appearance: spring to summer, summer to spring. 81 short-lived lakes appeared for one time over six years. 22 lakes of them appeared in spring, and other 58 lakes appeared in summer for six years. The number of new appeared lakes in spring is 4 in 2013, 2 in 2014, 8 in 2015 and 7 in 2016, 1 in 2017, and 0 in 2018.

**4.2 Behavior of Korumdu lake.** We investigated the seasonal changes of water level and water temperature in Korumdu lake in 2016-2017 using water level data logger (Hobo U20). In 2017, the water level started to increase from 6 July, and the maximum water level reached on 3 August, and then gradually decreased until 13 August. The water level rose to 11 m for 29 days. The water temperature was stable around 1 °C during 6 July–13 August 13. The lake area and volume were 0.033 km<sup>2</sup> and 142500 m<sup>3</sup> on 3 August. The daily maximum discharges was 18000 m<sup>3</sup>/day based on water level and lake volume data. A time-lapse camera also took the lake level changes of the Korumdu lake in 2017.

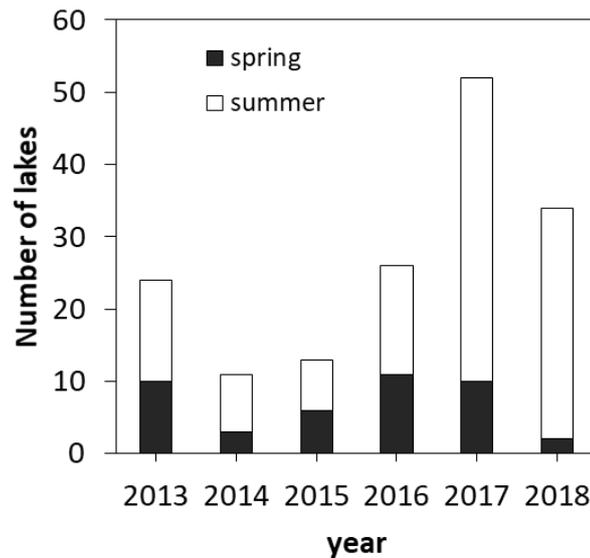


Figure 2. The number of the short-lived lakes, which appeared spring or summer in 2013-2018.

**5. Types of closure of ice tunnel.** We identified 160 glacial lakes, and classified these lakes into the timing of spring or summer when the lakes appeared. We considered that the different timing of appearance shows different factors which caused closure of ice tunnel. For example, the Korumdu lake appeared from mid-June to beginning of August. This shows closure of tunnel is caused by blockages inside of ice tunnel triggered by debris and ice collapse due to ice melting (collapsing type). UAV ortho images in 2016 and 2017 showed surface changes around entrance of ice tunnel, due to melting of buried ice which in consequences induces debris slumping and sliding. These surface changes around ice tunnel caused the closure of ice tunnel during summer. During our staying at the Korumdu lake in 2017, the water level increased 1m quickly within 3 hours. While, appearance in spring is considered due to freezing of stored water inside of ice tunnel during winter or the blockages of collapse of the debris-mixed ice (freezing-collapsing type). Four short-lived lakes which caused recent large drainages were freezing-collapsing type.

### References

1. Ageta, Y., Iwata, S., Yabuki, H., Naito, N., Sakai, A., Narama, C., Karma. Expansion of glacier lakes in recent decades in the Bhutan Himalayas. IAHS Publication, Wallingford, UK, pp. 165–175, 2000.
2. Bajracharya, S.R., Mool, P.K., Shrestha, B.R. Impact of climate change on Himalayan glaciers and glacial lakes: case studies on GLOF and associated hazards in Nepal and Bhutan. ICIMOD, Kathmandu, Nepal, 2007.
3. Benn, D.I., Wiseman, S., Hands, K.A. Growth and drainage of supraglacial lakes on the debris-mantled Ngozumpa Glacier, Khumbu Himal, Nepal. *Journal of Glaciology*, 47, 626–638, 2001.
4. Bolch, T., Peters, J., Yegorov, A., Pradhan, B., Buchroithner, M., Blagoveshchensky, V. Identification of potentially dangerous glacial lakes in the northern Tien Shan. *Natural Hazards*, 59, 1691–1714, 2011.
5. Daiyrov M., C. Narama, T. Yamanokuchi, T. Tadono, A. Kääh, J. Ukita T. Regional geomorphological conditions related to recent changes of glacial lakes in the Issyk-Kul basin, northern Tien Shan. *Geosciences*, 8(3), Art.no. 99, 2018.

doi:10.3390/geosciences8030099.

6. Dikih, A.N. Regime of modern glaciation of the Central Tien Shan. Academy of Sciences of Kyrgyz SRR. Publisher "Ilim", 526. Frunze, 1982.

7. Emmer, A, Cochachin, A. The causes and mechanisms of moraine-dammed lake failures in the Cordillera Blanca, North American Cordillera, and Himalayas. Article in *Acta Universitatis Carolinae. Geographica*. Univerzita Karlova, 48, 5-15, 2013. doi:10.14712/23361980.2014.23

8. Erokhin S.A., Zaginaev V.V., Meleshko A.A., Ruiz-Villanueva, V., Petrikov, D., Chernomorets, S., Viskhadzhieva, K., Tutubalina, O., Stoffel, M. Debris flows triggered from non-stationary glacier lake outbursts: the case of the Teztor Lake complex (Northern Tian Shan, Kyrgyzstan). *Landslides*. 2017. DOI 10.1007/s10346-017-0862-3

9. Janský, B., Šobr, M., Engel, Z. Outburst flood hazard: Case studies from the Tien-Shan Mountains, Kyrgyzstan. *Limnologica*, 40, 358–364, 2010.

10. Janský, B., Šobr, M., Engel, Z., Yerokhin, S. High-altitude lake outburst: Tien-Shan case study. Dostál, P. (ed): In *Evolution of geographical systems and risk processes in the global context*. Charles University in Prague, Faculty of Science, P3K Publishers, Prague, pp 113 – 127, 2008.

11. Kapitsa, V., Shahgedanova, M., Machguth, H., Severskiy, I., Medeu, A. Assessment of evolution and risks of glacier lake outbursts in the Djungarskiy Alatau, Central Asia, using Landsat imagery and glacier bed topography modelling. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 17, 1837–1856, 2017.

12. Komori, J., Gurung, D.R., Iwata, S., Yabuki, H. Variation and lake expansion of Chubda Glacier, Bhutan Himalayas, during the last 35 years. *Bulletin of Glaciological Research*, 21, 49–55, 2004.

13. Kutuzov, S., Shahgedanova, M. Glacier retreat and climatic variability in the eastern Teskey-Alatoo, inner Tien Shan between the middle of the 19th century and beginning of the 21st century. *Global Planetary Change*, 69, 59–70, 2009.

14. Narama, C., Shimamura, Y., Nakayama, D., Abdrakhmatov, K. Recent changes of glacier coverage in the western Terskey-Alatoo Range, Kyrgyz Republic, using Corona and Landsat. *Annals of Glaciology*, 43, 223–229, 2006.

15. Narama, C., Duishonakunov, M., Kääb, A., Daiyrov, M., Abdrakhmatov, K. 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. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 10, 647–659, 2010a.

16. Narama, C., Kääb, A., Duishonakunov, M., Abdrakhmatov, K. Spatial variability of recent glacier area changes in the Tien Shan Mountains, Central Asia, using Corona (~1970), Landsat (~2000), and ALOS (~2007) satellite data. *Global Planetary Change*, 71, 42–54, 2010b.

17. Narama, C., Daiyrov, M., Tadono, T., Yamamoto, M., Kääb, A., Morita, R., Ukita, J. Seasonal drainage of supraglacial lakes on debris-covered glaciers in the Tien Shan Mountains, Central Asia. *Geomorphology*, 286, 133–142, 2017.

18. Narama, C., Daiyrov, M., Duishonakunov, M., Tadono, T., Hayato, S., Kääb, A., Ukita, J., Abdrakhmatov, K. Large drainage from short-lived glacial lakes in the Teskey Range, Tien Shan Mountains, Central Asia. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 18, 2018. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1-2018>.

19. Wang, X., Ding, Y., Liu, S., Jiang, L., Wu, K., Jiang, Z., Guo, W. Changes of glacial lakes and implications in Tian Shan, Central Asia, based on remote sensing data from 1990 to 2010. *Environmental Research Letters*, 8, 1–11, 2013.



**ХАРАКТЕРИСТИКИ И ЭВОЛЮЦИЯ ОКАМЕНЕЛЫХ ЛЕДНИКОВ И  
ОБРАЗОВАНИЙ ОБЛОМОЧНОГО ЛЬДА В ТЯНЬ-ШАНЕ**  
*Bolch.T.*

**CHARACTERISTICS AND EVOLUTION OF ROCK GLACIERS AND ICE-DEBRIS  
LANDFORMS IN THE TIEN SHAN**  
*Bolch.T.*

**Абстракт** Окаменелые ледники и другие формы подземного льда в условиях вечной мерзлоты распространены на Тянь-Шане, но им уделяется относительно мало внимания по сравнению с обычными ледниками, несмотря на то, что они также важны в отношении их вклада в гидрологию, геоморфологию и образование гляциальных опасностей. Следовательно, эти комплексы каменных глетчеров следует учитывать при осуществлении оценки их роли в гидрологических последствиях изменения климата.

**Abstracts.** Rock glaciers and other forms of subsurface ice in permafrost conditions ("Ice-Debris Landforms", I-DLs) are abundant in Tien Shan but have received relatively little attention in comparison to glaciers, despite the fact that they are also of significance in relation to hydrology, geomorphology and hazards. One reason for the relatively few number of studies is that investigating rock glaciers and I-DLs by remote sensing is difficult as they are not as easy to detect, their topographical changes are of a lower magnitude and less evident than the changes of glaciers. Hence, very high resolution imagery and digital terrain models (DTMs) are needed to study these periglacial landforms in more detail.

We used Corona KH-4B from the 1970s (resolution ~2m), 2012 GeoEye (0.5m) and 2016 Pléiades (0.5m) data to map and investigate specifically the surface elevation changes of I-DLs in the central part of Ile Alatau (northern Tien Shan/ Kazakhstan) and Ak-Shiirak (central Tien Shan/Kyrgyzstan). DTMs with a resolution of 5 m were generated and subsequently co-registered. Surface displacements were calculated by feature tracking and manually measured by identification of characteristic boulders. Overall we identified almost 50 I-DLs covering an area of about 18 km<sup>2</sup>, which is more than 40% of the glacier cover of the year 2016 of the investigated valleys in Ile Alatau. In Ak-Shiirak range I-DLs are also frequent (more than 70) but the relative area coverage is less compared to glaciers (~3.2%).

On average the I-DLs showed only a slight and insignificant overall surface lowering for the period since the 1970s. Most of the investigated I-DLs in both ranges nevertheless showed distinct patterns of change: a slight surface elevation gain at their fronts indicating an advance, a significant lowering in the upper probably glacier-affected parts. Ground penetrating radar (GPR) measurements reveal high ice content with the occurrence of massif debris-covered dead-ice bodies in the parts within the Little Ice Age glacier extent. These parts showed significant surface lowering, in some places exceeding 20m between

1964 and 2015. The periglacial parts are characterised by complex rock glaciers of different ages. These rock glaciers could be remnants of debris-covered ice located in permafrost conditions. They show stable surface elevations with no or only very low surface movement. However, the characteristics of the fronts of most rock glacier parts indicate slight activity and elevation gains at the fronts slight advances. GPR data indicated less ice content and slanting layers which coincide with the ridges and furrows and could mainly be formed by glacier advances under permafrost conditions. Overall, the ice content is decreasing from the upper to the lower part of the I-DLs. Hence, these complexes, and especially the glacier-affected parts, should be considered when assessing the hydrological impacts of climate change.

**ПРОЕКТ CICADA (КРИОСФЕРНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ СЕРВИСЫ ДЛЯ  
УЛУЧШЕННОЙ АДАПТАЦИИ)**

**Сакс Т., Азисов Е., Барандун М., Гафуров А., Хельцле М., Кабутов Х.,  
Каюмов А., Кенжебаев Р., Кроненберг М., Маммаиров Г., Молдобеков Б.,  
Петров М., Тошпулатов Н. ., Умирзаков Г., Усубалиев Р**

**PROJECT CICADA (CRYOSPHERIC CLIMATE SERVICES FOR IMPROVED  
ADAPTATION)**

***Saks T., Azisov E., Barandun M., Gafurov A., Hoelzle M., Kabutov X., Kayumov  
A., Kenzhebaev R., Kronenberg M., Mammairov H., Moldobekov B., Petrov M. ,  
Toshpulatov H., Umirzakov G., Usubaliev R.***

**Абстракт.** Изменение климата представляет собой серьезную проблему для человечества, и связанные с этим глобальные последствия будут влиять и угрожать будущей экономике и средствам существования будущих поколений, особенно в развивающихся странах. Одним из регионов, где изменение климата имеет серьезные последствия, является Центральная Азия. С Тянь-Шанем и Памиром в регионе находятся две крупнейшие горные системы мира, которые служат водонапорными башнями в засушливом и континентальном регионе. Будущие водные ресурсы в этих регионах сильно зависят от криосферы, особенно от снега, ледников и вечной мерзлоты. Эти криосферные компоненты хранят огромное количество воды в твердой форме. Эти ресурсы будут играть важную роль в будущем водообеспечении в условиях продолжающегося потепления климата, влияющего на будущее управление водными ресурсами. Несколько недавних исследований (Hagg et al. 2007, 2013, Kaser et al. 2010, Huss and Hock 2018) ясно указывают на то, что а) в засушливых регионах, таких как Центральная Азия, выделение воды ледниками является основополагающим для сохранения достаточного стока в течение сухого лета. месяцев и б) в конце этого столетия водный вклад ледников будет резко сокращен, а некоторые водосборы полностью высохнут. Этот параметр создает сложный комплекс будущих задач в области управления водными ресурсами, производства энергии, ирригации, сельского хозяйства, окружающей среды, снижения риска бедствий, безопасности и общественного здравоохранения.

В частности, это также создает проблемы в области климатического обслуживания, поскольку отсутствие надежных данных и приверженность правительств полной интеграции своих систем обсерватории препятствует устойчивому развитию региона. Именно в этот момент проект CICADA (Криосферное климатическое обслуживание для улучшенных адаптаций) в настоящее время способствует улучшению криосферного климатического обслуживания в странах Центральной Азии путем установки современных станций мониторинга (Hoelzle et al. 2017) путем обучения местных студентов ( Nussbaumer et al. 2017) и исследователи и используют эту информацию для предоставления климатических сценариев и услуг для стока воды и стихийных бедствий (например, ГЛОФ, селевые потоки). Это является обязательным условием для принятия мер по раннему планированию и адаптации в секторах управления водными ресурсами (WRM) и снижения риска бедствий (DRR). Эти сценарии и услуги должны основываться на калиброванных моделях, связанных с высококачественными исходными данными.

Проект организован и частично финансируется Фрибургским университетом под эгидой Всемирной службы мониторинга ледников (WGMS) при крупном содействии Швейцарского агентства по развитию и сотрудничеству (SDC).

**Abstracts.** Climate change poses a major challenge for humanity and the related global implications will influence and threaten future economies and livelihood of coming generations, especially in developing countries. One region, where climate change has major impacts is Central Asia. With the Tien Shan and Pamir, the region contains two of the largest mountain systems of the world, which serve as water towers in arid and continental region. Future water resources in these regions depend strongly on the cryosphere, particularly on snow, glaciers and permafrost. These cryospheric components store enormous amounts of water in its solid form. These resources will play an important role for future water availability under the ongoing climate warming influencing future water resource management. Several recent studies (Hagg et al. 2007, 2013, Kaser et al. 2010, Huss and Hock 2018) point out clearly that a) in arid regions like Central Asia, water release by glaciers is fundamental to keep runoff sufficient during the dry summer months and b) at the end of this century the water contribution of glaciers will be drastically reduced and certain catchments will completely dry-out. This setting creates a complex set of future challenges in the areas of water management, energy production, irrigation, agriculture, environment, disaster risk reduction, security and public health.

Notably this also poses challenges in the field of climate services, as the lack of reliable data and commitment of the governments to fully integrate their observatory systems inhibits the sustainable development of the region. Exactly at this point, the project CICADA (Cryospheric Climate Services for improved Adaptations) is currently contributing to the improvement of the Cryospheric Climate Services in the Central Asian countries by installing modern monitoring stations (Hoelzle et al. 2017), by training local students (Nussbaumer et al. 2017) and researchers and using this information in order to provide climate scenarios and services for water runoff and natural hazards (e.g. GLOFs, debris flows). This is a prerequisite to allow early planning and adaptation measures within the water resource management (WRM) and disaster risk reduction (DRR) sectors. These scenarios and services have to be based on calibrated models linked to high quality baseline data.

The project is organized and partly financed by the University of Fribourg under the auspice of the World Glacier Monitoring Service (WGMS) with a large contribution of the Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC).

#### **Literature:**

Hagg, W., Braun, L., Kuhn, M., and Nesgaard, T. I., 2007, Modelling of hydrological response to climate change in glacierized Central Asian catchments: *Journal of Hydrology*, v. 332, p. 40-53.

Hagg, W., Hoelzle, M., Wagner, S., Mayr, E., and Klose, Z., 2013, Glacier and runoff changes in the Rukhk catchment, upper Amu-Darya basin until 2050: *Global and Planetary Change*, v. 110, p. 62-73.

Hoelzle M, Azisov E, Barandun M, Huss M, Farinotti D, Gafurov A, Hagg W, Kenzhebaev R, Kronenberg M, Machguth H, Merkushkin A, Moldobekov B, Petrov M, Saks T, Salzmann N, Schöne T, Tarasov Y, Usubaliev R, Vorogushyn S, Yakovlev A, Zemp M (2017) Re-establishing glacier monitoring in Kyrgyzstan and Uzbekistan, Central Asia. *Geoscientific Instrumentation Method and Data Systems* 6:397-418

Huss M, Hock R., 2018, Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. *Nature Climate Change*.

Kaser, G., Grosshauser, M., and Marzeion, B., 2010: Contribution potential of glaciers to water availability in different climate regimes: *PNAS*, v. 107, no. 47, p. 20223-20227.

Nussbaumer SU, Hoelzle M, Hüsler F, Huggel C, Salzmann N, Zemp M (2017) Glacier Monitoring and Capacity Building: Important Ingredients for Sustainable Mountain Development. *Mountain Research and Development* 37(1):141-152

**МОНИТОРИНГ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН:  
ДОСТИЖЕНИЯ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**  
*Абдуллаев Б.Д., Умарова З.М., Андреев Д.Н.*

**MONITORING GROUNDWATERS OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN:  
ACHIEVEMENT, PROBLEMS AND WAYS OF THEIR SOLUTION**  
*Abdullaev B.D., Umarova Z.M., Andreev D.N.*

**Аннотация:** В статье освещается современное состояние, достижения, проблемы и пути их решения по мониторингу подземных вод Республики Узбекистан. Приведены характеристики, виды и функции мониторинга подземных вод. Разработан базовая структура банка геобазы данных. Разработаны методические рекомендации составления гидрогеологических карт нового поколения и введения региональных исследований в условиях изменения природно-техногенной обстановки. Создана интегрированная информационно-аналитическая система на основе ГИС для решения гидрогеологических и инженерно-геологических задач на региональном уровне.

**Ключевые слова:** подземные воды, мониторинг, режим, скважины, гидрогеологическая станция, наблюдательные сети, ГИС, карты, геобазы данных.

**Annotation.:** The article highlights the current state, achievements, problems and ways of their solution for monitoring the underground waters of the Republic of Uzbekistan. The characteristics, types and functions of groundwater monitoring are given. The basic structure of the geobase database has been developed. Methodological recommendations have been developed for compiling hydrogeological maps of a new generation and introducing regional studies under conditions of changing natural and technogenic conditions. An integrated GIS-based information and analytical system was created to solve hydrogeological and engineering-geological problems at the regional level

**Key words:** groundwater, monitoring, regime, wells, hydrogeological station, observation networks, GIS, maps, geobase of data.

**Введение.** Название «подземные воды» говорит само за себя – это вода, которая находится в под землей, то есть в земной коре, в верхней ее части, причем находиться там она может в любом из своих агрегатных состояний – в виде жидкости, льда или газа. Она имеет такие показатели и характеристики, которые позволяют относить ее к естественному продукту обеспечения жизни деятельности населения, в настоящее время в мире обеспечено всего лишь 6 % населения чистой питьевой водой. Из этого следует, что подземная питьевая вода означает необходимость постоянного мониторинга.

**Методика.** Мониторинг подземных вод - представляет собой систему регулярных наблюдений, накопления и обработки информации и на ее основе анализ и оценка состояния подземной гидросферы ее изменений под влиянием естественных природных и техногенных факторов, водопользование и других видов деятельности. Мониторинг изучается в разном уровне – детальный, локальный, региональный и государственный. Есть своя функциональная система: сбор информации; оценка информации; прогнозирование и рекомендации по управ-

лению. Методы наблюдений мониторинга подземных вод бывает по разном показателем: химическим, биологическим, физическим; автоматизированная информационная система; ретроспективное наблюдения.

**Результаты исследований. Достижения** – в настоящее время Государственный мониторинг подземных вод на территории Республики Узбекистан Госкомгеологии осуществляется силами 14-ти территориальных гидрогеологических станций (ГГС).

Наблюдения за состоянием подземных вод ведётся по наблюдательным пунктам, расположенным в пределах более 97 месторождений подземных вод Республики Узбекистан.

Количество наблюдательных пунктов по состоянию на 01.01.2019г. составляет 1413, которые состоят из 2019 скважин, что иллюстрируется картой существующей сети регионального мониторинга подземных вод.

Для увеличения эффективности функционирования системы учета и мониторинга подземных вод одним из важных направлений является информационно-аналитическое и программно-технологическое обеспечение.

Сотрудниками ГП «Институт Гидроингео» составлен сводный отчет по ведению Государственного мониторинга подземных вод по всей территории Республики Узбекистан (на региональном уровне) и составлена карта степени нарушенности режима подземных вод по Республике Узбекистан масштаба 1: 1 000 000 (рис 1).

По Постановлению Президента Республики Узбекистан «О мерах по упорядочению контроля и учета рационального использования запасов подземных вод на период 2017-2021гг. по пункту 5 определено поэтапное расширение наблюдательной сети с тем чтобы охватить исследования по первой эксплуатируемый горизонт подземных вод и все последующие эксплуатируемые горизонты, иллюстрируется, «Сопоставительной диаграммой существующих и проектируемых наблюдательной пунктов мониторинга подземных вод Республики Узбекистан». Во исполнение этого Постановления Президента по каждой гидрогеологической станции по областям были составлены карты: существующей сети мониторинга подземных вод; расширение наблюдательной сети мониторинга подземных вод; карта источников загрязнения подземных вод каждой области по отдельности.

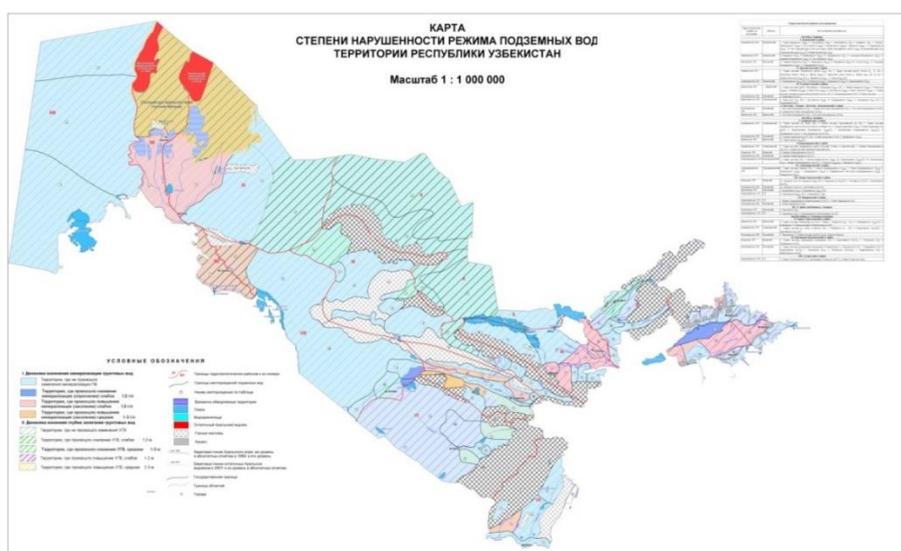


Рис 1. Карта степени нарушенности режима подземных вод территории Республики Узбекистан.

Следует отметить, что в ГП «Институт ГИДРОИНГЕО» активно ведутся работы по научно-методическому обеспечению мониторинговых работ производственных подразделений отрасли. Составлена и внедряются в практику методические требования, инструкции и рекомендации по ведению мониторинга подземных вод, современные измерительные приборы.

На всех уровнях исследований внедряется современное программное обеспечение, основанное на геоинформационных технологиях, позволяющих создавать трёхмерные модели объектов исследований и делать прогнозы с высокими показателями достоверности.

Под контролем ГП «Институт ГИДРОИНГЕО» разработан прибор ГГМ-1, с помощью которого измеряется уровень подземных вод, температура и электропроводимость. Полученные результаты передаются по сети GSM в мобильные телефоны, в свою очередь это дает оперативную и точную информацию, а также экономит рабочую силу и время. На сегодняшний день приборы ГГМ-1 устанавливаются в ГГС и в наблюдательных пунктах.

Разработан базовая структура банка данных и создана интегрированная информационно-аналитическая система на основе ГИС для решения гидрогеологических и инженерно-геологических задач на региональном уровне. Выявление закономерностей, оценка и прогноз изменения подземной гидросферы под влиянием интенсивного орошения земель и состояния гидрогеодинамического поля под воздействием сейсмической активности земной коры. Разработка методических рекомендаций ведения региональных исследований в условиях изменения природно-техногенной обстановки и составления гидрогеологических карт нового поколения.

В соответствии с развитием региональных исследований и концепцией Госкомгеологии РУз «Геокарта-200» разрабатывались методические требования к гидрогеологическим исследованиям масштаба 1:200 000 на территориях с изменившимися природно-техногенными условиями и составлению Государственной гидрогеологической карты нового поколения на основе ГИС –технологий.

### **Выводы**

**1. Проблемы ведение мониторинга подземных вод:** Недостаточность наблюдательных пунктов мониторинга (неравномерность, информативность, захват диапазона мониторинга); Законодательная база и нормативно-технические документы ведения мониторинга; Нехватка некоторой материально-технической базы территориальных гидрогеологических станций.

**2. Что необходимо для улучшение мониторинга подземных вод:** разработка и усовершенствование нормативно-правовой базы по введению мониторинга подземных вод; внедрение автоматизированной системы наблюдений и создание комплексной системы анализа и оценки текущего состояния подземных вод; укрепление материально-технической базы территориальных гидрогеологических станций; портативные и передвижные химические лаборатории; поэтапное расширение сети наблюдательных пунктов мониторинга подземных вод; информационно-картографическую подсистему, программные моделирующие продукты.

### **Список литературы.**

1. Королев В.А. «Мониторинг геологической среды», Москва – 1995 г., С. 46-56
2. Саидова С.А., Маленин О.В. «Мониторинговые исследования подземных вод Республики Узбекистан», // МК «Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли Республики Узбекистан», Ташкент – 2016 г., С. 82-87



## ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА СООБЩЕСТВА, НАСЕЛЯЮЩИЕ ВЫСОКОГОРНЫЕ РАЙОНЫ КЫРГЫЗСТАНА

*Айдаралиев А.А., Хенебри Ж.М., Чы К., Гройсман П., Томашевска М., Бай-ходжоев М.С., Кельгенбаева К.А.*

### **CLIMATIC IMPACTS ON MOUNTAINOUS LIVELIHOOD IN KYRGYZSTAN**

*Aidaraliev A.A., Henebry G.M., Chi G., Groisman P., Tomaszewska M., <sup>1</sup>Bai-hodjoev M.S., Kelgenbaeva K.A.*

**Аннотация.** За последние десятилетия в странах Центральной Азии и, в частности, в Кыргызстане произошли климатические, экологические, институциональные и социально-демографические изменения. Однако, многие из этих изменений и их значимость не известны хорошо за пределами региона. Более того, последний Оценочный отчет Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC, AR5) указывает на то, что в Центральной Азии имеются ещё пробелы в знаниях о последствиях изменения климата, чем в любом другом регионе Азии. В рамках программы «Земельный покров и землепользование», финансируемого Национальным космическим агентством США (НАСА) было проведено научное исследование по изучению взаимосвязи между изменениями температуры, осадков, снежного покрова и ростом растительности в высокогорных пастбищных районах Кыргызстана, а также влияние глобализации [точнее, трудовой миграции и денежных переводов] на социальную демографию горного агро-пасторализма. В этом докладе представлено последнее обновление по статусу проекта, показаны некоторые ключевые результаты на сегодняшний день.

**Ключевые слова:** Кыргызстан, пасторализм, зональное передвижение, дистанционное зондирование (космоснимки), фенология земной поверхности, сезонность снежного покрова, трудовая миграция, денежные переводы.

**Annotation.:** Climatic, environmental, institutional, and sociodemographic changes have occurred across Central Asia—and Kyrgyzstan in particular—in recent decades. Yet, many of these changes and their significance are not well known outside of the region. Indeed, the last IPCC Assessment Report (AR5) suggests that there are more knowledge gaps about the consequences of climate change in Central Asia than any other region in Asia. A scientific investigation funded by the NASA Land Cover/Land Use Change program has been looking at the linkages between changes in temperature, precipitation, snow cover, and vegetation growth in the highland pastures of Kyrgyzstan and how globalization (through labor migration and remittances) influence the sociodemographics of montane agropastoralism. This report provides an update on the project status, describes some of the key findings to date.

**Keywords:** Kyrgyzstan, pastoralism; vertical transhumance; remote sensing; land surface phenology; snow cover seasonality; social surveys; labor migration; remittances

**Введение.** Главной целью проекта являлось изучение динамики изменения пастбищного использования в высокогорных сельских регионах Центральной Азии в связи с изменением климата, а также социо-экономический анализ благосостояния населения этих регионов (трудовая миграция).

**Методология исследований.** Было проведено 2 полевые экспедиции в Нарынский и Ошский области в 2016 и 2017 году по экологии и социологии.

**Результаты исследований:** Данный проект финансировался Национальным космическим агентством (НАСА) через Государственный университет Южной Дакоты (США), и дополнительно Пенсильванским Государственным университетом, Учебно-Научно-Производственным Комплексом «Международный университет Кыргызстана» (УНПК «МУК») (Кыргызстан) и Фондом Аскара Салымбекова.

Координатором по Кыргызстану являлся Академик Асылбек Акматбекович Айдаралиев, Председатель Попечительского Совета «УНПК «МУК».

Социологические полевые экспедиции были проведены в Нарынской области (Ат-Башинский и Нарынский районы) 2016 году. Для обследования были отобраны 12 высокогорных и отдаленных сел, располагающихся на высотах от 2000 до 2500 метров над уровнем моря [1 - 31].

Количество населения одного села варьировалось от 590 до 10764 человек. Предварительно был составлен опросник (на английском и кыргызском языках) с участием социологов из Пенсильванского Государственного университета и сотрудников УНПК «МУК». В сельских местностях для проведения опроса были вовлечены учителя местных школ, социальные работники и магистранты УНПК «МУК». В результате анкетирования было собрано около 600 анкет и 50 углубленных (детальных) интервью-опросов от респондентов Нарынской области. Большинство респондентов обследования и все участники детальных интервью-опросов имели, по крайней мере одного члена мигранта в домохозяйстве. В рамках каждого метода респондентам задавались вопросы о членах семей мигрантов, получении денежных переводов, воздействии миграции на оставшихся членов семьи и детей на Родине.

В 2017 году подобное полевое исследование было проведено в Ошской области (Алайский район) на отобранных 14 высокогорных селах. В результате анкетирования было собрано около 1234 анкет и 52 детальных интервью-опросов от респондентов Алайского района. Использование электронных опросников при помощи 12 планшет (вместо распечатанных опросников) позволило ускорить в два раза сбор анкет и быструю обработку анкет (в отличие от 2016 года, где обработка продолжалась 8 месяцев).

Обработка результатов еще продолжается. Планируется публикация статей в ближайшие годы. Ниже приводятся некоторые выводы. Около 63% трудовых мигрантов составили мужчины чем женщины. Стоимость международных денежных переводов более чем в два раза показало превышение стоимости внутренних денежных переводов. Основным видом использования денежных переводов на Родине мигранта явилось строительство, хотя преобладала закупка скота, особенно в Ошской области. Использование денежных переводов для проведения торжественных и общественных мероприятий было распространено в Ошской и Нарынской областях. Опросы показали, что оставшиеся на попечении - дети мигрантов из наиболее отдаленных и маленьких сел оказываются в худшем положении. Большинство респондентов согласились с тем, что денежные переводы помогают детям в финансовом плане семье мигранта и утверждают, что имеют «больше шансов получить образование и продолжить учебу». Однако, другая часть респондентов не согласилась с этим утверждением.

Результаты опроса показали, что дети мигрантов (без родительского попечения) демонстрируют более высокий процент прогулов в школе и более низкий уровень грамотности по сравнению с детьми из семей, не являющихся мигрантами. Экологические полевые исследования были также проведены в 2016 и 2017 гг. Участвовали сотрудники Государственного университета Южная Дакота и УНПК «МУК». Полевые исследования в высокогорных пастбищных райо-

нах Кыргызстана были проведены с целью отбора растительности на разных видах пастбищ [зимних, весенних/осенних и летних]. Были использованы 2 вида фотоаппаратов оборудованных GPS чтобы уточнить результаты космоснимков по растительности с полевыми данными. Заранее был проведен научный анализ снежного покрова четырех районов (Алайского, Чон-Алайского, Нарынского и Ат-Башинского) используя космоснимки МОДИС за 14 лет (2002-2016 лет) наблюдения используя программу ENVI with IDL. Был использован метод Mann-Kendall непараметрический трендовый анализ чтобы определить территории подверженные значительным изменениям [1 - 31].

В результате, мы обнаружили значительные изменения в сезонности снежного покрова в Кыргызстане, но изменения были не равномерными по всей стране. Ранее таяние снега и уменьшающаяся продолжительность снежного покрова была обнаружена в восточной части Кыргызстана, но ранний выпад снега и увеличение продолжительности снежного покрова наблюдается в западной части Кыргызстана. Обнаружены значительные сдвиги в сторону более раннего наступления снега для территории почти в 8000 км<sup>2</sup> в шести из семи областей Кыргызстана, а также значительные сдвиги в сторону более раннего наступления таяния снега для почти 5000 км<sup>2</sup> в пяти из семи областей Республики. Кроме того, продолжительность снежного сезона значительно сократилась в двух областях и значительно продолжилась в четырех областях, показали исследования 14-летнего анализа (Рис.1). Также, продолжительность снежного сезона была значительно больше, где наступление снега было значительно раньше, или таяние снега были значительно позже. Наблюдается общая тенденция раннего снеготаяния на высоте ниже 3400 м над уровнем моря, а площадь раннее снеготаяния составила в 15 раз больше в восточном, чем в западных районах Кыргызстана [1 - 31].

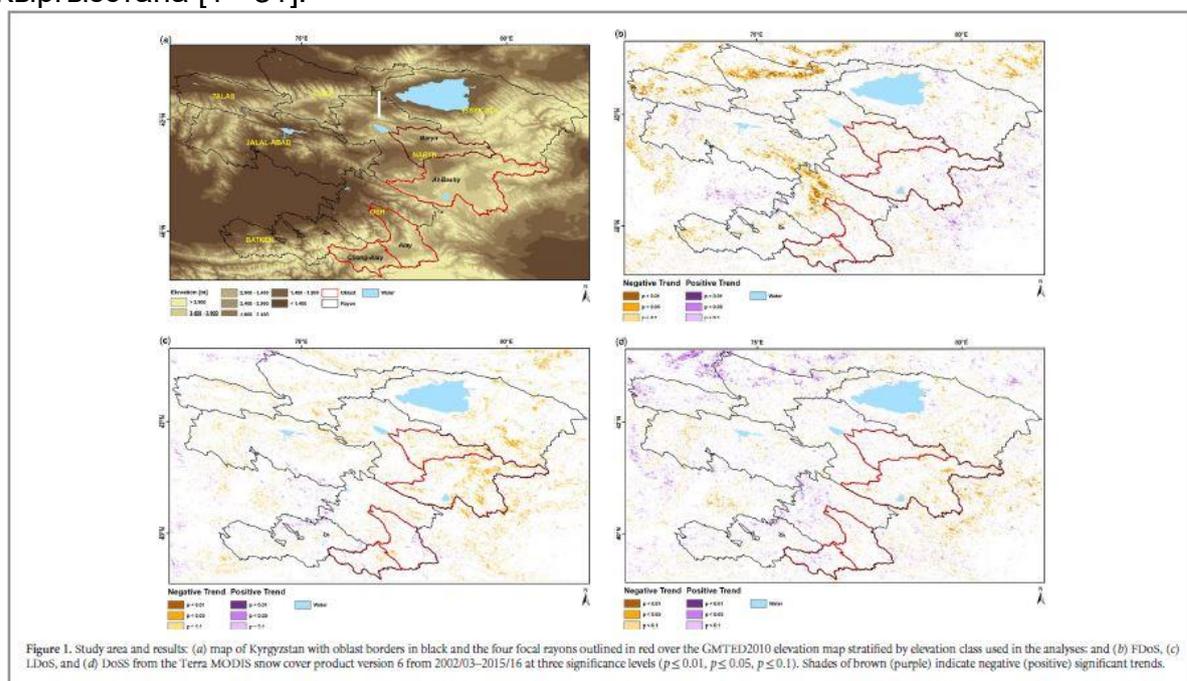


Рисунок 1. Результаты анализа позитивного и негативного трендов покрытия снежного покрова в Кыргызстане на основе спутниковых данных Терра МОДИС (с 2002-2015гг.) (детали: Tomaszewska M., Henebry G.M., 2018)

Для научного обмена были проведены 3 презентации по результатам проекта и один Круглый стол с участием ППС ВУЗов и НИИ в Бишкеке, студенческие и научные стажировки (6 магистрантов участвовали в полевых работах и 1 пост-докторант в Государственном университете Южной Дакоты (2.5 года)).

В рамках данного проекта также были проведены исследования Институтом горной физиологии и медицины НАН КР (проф. Шаназаровым А.С. Жунусовой Г.С., Аисаевой Ш.Ю., Мельниковой Н.Г.), влиянию эколого-климатических факторов гор на функциональное состояние организма и здоровье жителей Ат-Башинского района в 2016 году и Алайского района Ошской области (населенных пунктов Гульча, Сары-Таш, Талды-Суу) в 2017 году.

Были исследованы нейрофизиологический статус и устойчивость центральной нервной системы, ресурсный потенциал и адаптационные возможности системы кровообращения жителей этих населенных пунктов.

Изучены нейродинамические параметры центральной нервной системы электроэнцефалографическим методом, включая амплитудно-частотные характеристики, спектральные мощности основных ритмов ЭЭГ и характер межцентральной асимметрии мозга, оценен нейрофизиологический статус горцев и функциональное состояние ЦНС у 108 горцев в возрасте от 15 до 55 лет, проживающих в Алайском районе.

Определены типы пластичности центральных механизмов регуляции мозга по ЭЭГ. Установлено, что к I группе относится 7% горцев, ко II группе относится 6% горцев, а к III группе относится 87% обследованных горцев, что свидетельствует о высокой представленности в Алайском районе лиц с низкой пластичностью центральных механизмов регуляции мозга.

Также изучались психофизиологические показатели, параметры вегетативного баланса и физического статуса горцев.

Психофизиологические исследования структуры личности включали оценку параметров внимания, памяти, мышления, тревожности, мотиваций и др. у более 200 горцев в возрасте от 15 до 55 лет.

#### **Выводы.**

1. При оценке основных показателей иммунного статуса жителей указанных сёл установлено отклонение от нормы большинства исследованных параметров иммунного статуса и естественной резистентности организма.

2. Анализ характеристик variability сердечного ритма указывает на напряжение вегетативных механизмов регуляции у жителей высокогорья. Выявлено значительное снижение мощности высокочастотных и низкочастотных колебаний сердечного ритма и повышение таких параметров variability сердечного ритма как амплитуда моды и индекс напряжения.

3. Наиболее значимые изменения этих показателей проявляются в возрасте 40-49 лет, а маркерами этих сдвигов могут быть низко- и высокочастотные диапазоны мощности спектра и смещение вегетативного баланса в сторону симпатического звена регуляции ВНС (вегетативной нервной системы).

**Благодарность** Национальному управлению по воздухоплаванию и исследованию космического пространства США (NASA), Фонду Аскара Салымбекова (Кыргызстан), Институту Горной Физиологии НАН КР и УНПК «Международный университет Кыргызстана» за оказанную поддержку.

#### **Литература**

1. An S, X Chen, XY Zhang, D Yan, GM Henebry. 2018. An exploration of terrain effects on land surface phenology across the Qinghai-Tibetan Plateau using Landsat ETM+ and OLI data *Remote Sensing* 10(7):1069. <https://doi.org/10.3390/rs10071069>
2. Chen J, R John, G Sun, P Fan, GM Henebry, ME Fernández-Giménez, Y Zhang, H Park, L T, P Groisman, Z Ouyang, G Allington, J Wu, C Shao, A Amarjargal, G Dong, G Gutman, F Huettmann, R Laforteza, C Crank, J Qi. 2018. Prospects for the sustainability of social-ecological systems (SES) on the Mongolian Plateau: Five critical issues. *Environmental Research Letters* To appear.

3. Chi G. 2017. From Environmental Change to Left-behind Children's Well-being in Rural Highlands: The Nexus of Pasture Productivity, Family Processes, Labor Migrants, and Child Development. *International University of Kyrgyzstan "Vestnik MUK"*, Bishkek, Kyrgyz Republic, July 13.
4. de Beurs KM, GM Henebry. 2004a. Land surface phenology, climatic variation, and institutional change: Analyzing agricultural land cover change in Kazakhstan. *Remote Sensing of Environment* 89(4):497-509. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.006>
5. de Beurs KM, GM Henebry. 2004b. Trend analysis of the Pathfinder AVHRR Land (PAL) NDVI data for the deserts of Central Asia. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 1(4): 282-286. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2004.834805>
6. de Beurs KM, GM Henebry. 2005. Land surface phenology and temperature variation in the IGBP high-latitude transects. *Global Change Biology* 11(5): 779-790. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00949.x>
7. de Beurs KM, GM Henebry. 2008. Northern Annular Mode effects on the land surface phenologies of Northern Eurasia. *Journal of Climate* 21:4257-4279. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2074.1>
8. de Beurs KM, CK Wright, GM Henebry. 2009. Dual scale trend analysis distinguishes climatic from anthropogenic effects on the vegetated land surface. *Environmental Research Letters* 4:045012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/045012>
9. de Beurs KM, GM Henebry. 2010. Spatio-temporal Statistical Methods for Modeling Land Surface Phenology. In: (IL Hudson and MR Keatley, eds.) *Phenological Research: Methods for Environmental and Climate Change Analysis*. Springer: New York. Chapter 9, pp. 177-208.
10. de Beurs KM, GM Henebry. 2013. Vegetation Phenology in Global Change. In: (MD Schwartz, ed.) *Phenology: An Integrative Environmental Science*, 2e. Springer. Chapter 26, pp. 483-502. [https://doi.org/10.1007\\_978-94-007-6925-0\\_26](https://doi.org/10.1007_978-94-007-6925-0_26)
11. de Beurs KM, GM Henebry, BC Owsley, I Sokolik. 2015. Using multiple remote sensing perspectives to identify and attribute land surface dynamics in Central Asia 2001-2013. *Remote Sensing of Environment* 170:48-61. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.018>
12. de Beurs KM, GM Henebry, B Owsley, I Sokolik. 2018. Large scale climate oscillation impacts on temperature, precipitation, and land surface phenology in Central Asia. *Environmental Research Letters* 13:065018 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac4d0>
13. Eddy IMS, SE Gergel, NC Coops, GM Henebry, J Levine, H Zerriffi, E Shibkov. 2017. Integrating remote sensing and local ecological knowledge to monitor rangeland dynamics. *Ecological Indicators* 82:106-116. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.033>
14. Flato G, J Marotzke, B Abiodun, P Braconnot, SC Chou, W Collins, P Cox, F Driouech, S Emori, V Eyvring, C Fores, P Gleckler, E Guilyardi, C Jakob, V Kattsov, C Reason, M Rummukainen. 2013. Evaluation of Climate Models. In: (TF Stocker, D Qin, GK Plattner, M Tignor, SK Allen, J Boschung, A Nauels, Y Xia, V Bex, PM Midgley, eds.) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. pp. 741–866. Online: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_Chapter09\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter09_FINAL.pdf)
15. Groisman P, O Bulygina, G Henebry, N Speranskaya, A Shiklomanov, Y Chen, N Tchebakova, E Parfenova, N Tilinina, O Zolina, A Dufour, J Chen, R John, P Fan, C Mátyás, I Yesserkepova, I Kaipov. 2018. Dry land belt of Northern Eurasia: Contemporary environmental changes and their consequences. *Environmental Research Letters* To appear.
16. Groisman P, H Shugart, D Kicklighter, G Henebry, N Tchebakova, S Maksyutov, E Monier, G Gutman, S Gulev, J Qi, A Prishchepov, E Kukavskaya, B Porfiriev, A Shiklomanov, T Loboda, N Shiklomanov, S Nghiem, K Bergen, J Albrechtová, J Chen, M Shahgedanova, A Shvidenko, N Speranskaya, A Soja, K de Beurs, O Bulygina, J McCarty, Q Zhuang, O Zolina. 2017. Northern Eurasia Future Initiative (NEFI): Facing the challenges and pathways of global change in the 21st century. *Progress in Earth and Planetary Sciences* 4(1):41 <https://doi.org/10.1186/s40645-017-0154-5>
17. Groisman P. 2016. Recent changes in global climate and their manifestation in the inner arid regions of Northern Eurasia. *Problems of Adaptation of the Mountain Regions of Central*

Asia to Global Changes. *International University of Kyrgyzstan "Vestnik MUK"*. Bishkek, Kyrgyz Republic, April 14-15.

18. Henebry GM. 2003. Grasslands of the North American Great Plains. In: **Phenology: An Integrative Environmental Science** (MD Schwartz, ed.). Kluwer, New York. Chapter 3.3, pp. 157-174.

19. Henebry GM. 2013. Phenologies of North American Grasslands and Grasses. In: (MD Schwartz, ed.) **Phenology: An Integrative Environmental Science, 2e**. Springer. Chapter 11, pp. 197-210. [https://doi.org/10.1007\\_978-94-007-6925-0\\_11](https://doi.org/10.1007_978-94-007-6925-0_11)

20. Henebry GM, KM de Beurs. 2013. Remote Sensing of Land Surface Phenology: A Prospectus. In: (MD Schwartz, ed.) **Phenology: An Integrative Environmental Science, 2e**. Springer. Chapter 21, pp. 385-411. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6925-0\\_21](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6925-0_21)

21. Henebry GM, KM de Beurs, AA Gitelson. 2005. Land surface phenologies of Uzbekistan and Turkmenistan between 1982 and 1999. *Arid Ecosystems* 11(26-27): 25-32.

22. Henebry GM, KM de Beurs, CK Wright, R John, E Lioubimtseva. 2013. Dryland East Asia in Hemispheric Context. In: (J Chen, S Wan, G Henebry, J Qi, G Gutman, G Sun, M Kappas, eds.) **Dryland East Asia: Land Dynamics Amid Social and Climate Change**, HEP/De Gruyter. Chapter 2, pp. 23-44. <https://doi.org/10.1515/9783110287912.23>

23. Henebry GM, MA Tomaszewska, CP Krehbiel, K Kelgenbaeva. 2018. Phenometric lapse rates advance understanding of land surface phenology in montane pastures. *Environmental Research Letters* To appear.

24. Hijioka Y, E Lin, JJ Pereira, RT Corlett, X Cui, GE Insarov, RD Lasco, E Lindgren, A Surjan. 2014. Asia. In: (VR Barros, CB Field, DJ Dokken, MD Mastra, eds.) In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. pp. 1327-1370. Online: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap24\\_FINAL.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap24_FINAL.pdf)

25. Lioubimtseva E, GM Henebry. 2009. Climate and environmental change in arid Central Asia: Impacts, vulnerability, and adaptations. *Journal of Arid Environments* 73:963-977. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.04.022>

26. Morisette JT, AD Richardson, AK Knapp, JI Fisher, E Graham, J Abatzoglou, BE Wilson, DD Breshears, GM Henebry, JM Hanes, L Liang. 2009. Unlocking the rhythm of the seasons in the face of global change: Challenges and opportunities for phenological research in the 21<sup>st</sup> Century. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5(7):253-260. <https://doi.org/10.1890/070217>

27. Pervez MS, GM Henebry. 2015. Spatial and seasonal responses of precipitation in the Ganges and Brahmaputra river basins to ENSO and Indian Ocean dipole modes: implications for flooding and drought. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 15:147-162. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-147-2015>

28. Pervez MS, GM Henebry. 2016. Differential heating in the Indian Ocean differentially modulates precipitation in the Ganges and Brahmaputra basins. *Remote Sensing* 8(11):901. <https://doi.org/10.3390/rs8110901>

29. Reyer C, IM Otto, S Adams, T Albrecht, F Baarsch, M Carlsburg, D Coumou, A Eden, E Ludi, R Marcus, M Mengel, B Mosello, A Robinson, CF Schleussner, O Serdeczny, J Stagl. 2017. Climate change impacts in Central Asia and their implications for development *Regional Environmental Change* 17:1639-1650. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0893-z>

30. Tomaszewska MA, GM Henebry. 2018. Changing snow seasonality in the highlands of Kyrgyzstan. *Environmental Research Letters* 13:065006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabd6f>

31. Wright CK, KM de Beurs, GM Henebry. 2014. Land surface anomalies preceding the 2010 Russian heat wave and a link to the North Atlantic Oscillation. *Environmental Research Letters* 9:124015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/12/124015>

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ В КЫРГЫЗСТАНЕ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЗА КАЧЕСТВОМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Боконбаев К. Дж. Айдаралиев А. А., Подгорски Д.*

## RELEVANT ISSUES OF INTRODUCTION OF MODERN ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEMS IN KYRGYZSTAN

*Bokonbaev K. Dj., Aidaraliev A. A., Podgorsky D.*

**Аннотация:** обосновывается необходимость организации современной системы мониторинга за качеством окружающей среды с целью обеспечения экологической безопасности. Рекомендуются наладить мониторинг водных ресурсов формирующихся в горах и земельных ресурсов Кыргызстана и Таджикистана, как основы продовольственной безопасности в засушливой Центральной Азии. Высыхания Аральского моря имеет трансграничное воздействие, т.к. сотни тонн солей и пыли переносятся на ледники Тянь-Шаня, ускоряя их таяние и, как следствие, с угрозой потери основных источников пресной воды для всего центральноазиатского региона. Доказан перенос на ледники Тянь-Шаня сажи горевших в 1992 году нефтяных скважин Кувейта. Для обеспечения экологической безопасности Кыргызская Республика и соседние страны остро нуждаются в современной интегрированной центральноазиатской системе мониторинга

**Ключевые слова:** мониторинг, окружающая среда, предупреждение, экологическая безопасность, загрязнения, изменения климата, охрана, контроль.

**Abstract:** the necessity of organizing a modern system for monitoring environmental quality in order to ensure environmental safety is substantiated. It is recommended to establish monitoring of water resources formed in the mountains and land resources of Kyrgyzstan and Tajikistan, as the basis of food security in arid Central Asia. The drying of the Aral Sea has a transboundary impact, as hundreds of tons of salts and dust are transported to the Tien Shan glaciers, accelerating their melting and, as a result, with the threat of losing the main sources of fresh water for the entire Central Asian region. Proved the transfer to the glaciers of the Tien Shan soot burning in Kuwait's oil wells in 1992. To ensure environmental safety, the Kyrgyz Republic and neighboring countries urgently need a modern integrated Central Asian monitoring system

**Key words:** monitoring, environment, prevention, ecological security, pollution, climate change, protection, control.

**Введение.** Как показывает мировая и отечественная практика (в Кыргызской Республике) недооценка или переоценка экологических угроз чревата серьёзными психологическими, социальными и экономическими издержками. Чтобы избежать такого рода ущербов необходимо предоставлять общественности, государственным органам реальную картину состояния и качества окружающей среды, которую дает только инструментальный мониторинг.

**Методика.** Следовательно, применение современных систем мониторинга за качеством окружающей среды должно рассматриваться как приоритетный компонент обеспечения национальной безопасности государства.

**Результаты исследований.** В процессе неоднократных консультаций стран Европейского Союза и Кыргызской Республики сторонами неоднократно

подтверждалась необходимость модернизации подходов к комплексной оценке качества окружающей среды, состоянии и прогноз эволюции экосистем на основе создания интегрированной системы мониторинга.

Особенно актуальной становится эта задача для аридной по климату Центральной Азии в связи с глобальным изменением климата, экологические, социально-экономические последствия которого могут оказаться катастрофическими.

Европейская Комиссия и страны-члены ЕС неоднократно подтверждали готовность инвестировать передовой опыта и технологии в сфере контроля за качеством окружающей среды, включая содействие по управлению водными ресурсами в рамках выполнения Киотского протокола, Орхусской и Парижской конвенций. Тем не менее, вопреки этому заявлению современная система мониторинга в Кыргызстане отсутствует.

Ниже с незначительными купюрами приводится информация Европейской экономической Комиссии о состоянии сети мониторинга в области охраны атмосферного воздуха в Кыргызской Республике по состоянию на 2007 г.

«В Кыргызской Республике согласно действующему законодательству функции государственного управления и контроля в области охраны атмосферного воздуха возложены на:

- Кыргызгидромет МЧС – мониторинг за качеством атмосферного воздуха в городах;
- Государственное агентство по охране окружающей среды и лесному хозяйству – контроль промышленных выбросов;
- Департамент санитарно - эпидемиологического надзора Минздрава – контроль качества воздуха внутри помещений, изучение влияния загрязнения воздушной среды на здоровье населения;
- МВД - контроль состава выхлопных газов автотранспорта при техническом осмотре.

То есть, по заключению Европейской экономической Комиссии единая государственная система мониторинга за качеством воздуха в республике отсутствует. От себя добавим, что описанная в докладе ситуация к настоящему, 2019 году, существенно не изменилась.

И не только по воздуху, но также и по мониторингу за состоянием земельных, водных и биологических ресурсов. Известная русская пословица гласит: «У семи нянек – дитя без глаза».

Организации единой комплексной системы мониторинга препятствуют два обстоятельства: 1. Отсутствие необходимых финансовых средств. 2. Нежелание осуществить конструктивные институциональные реформы.

Второе обстоятельство – главное. В республике, по-прежнему, функции управления и контроля за взаимосвязанными и взаимообусловленными экологическими и чрезвычайными (стихийными) природными, техногенными процессами осуществляют три разных ведомства: Министерство чрезвычайных ситуаций Государственное агентство охраны окружающей среды и лесного хозяйства при Правительстве КР и Государственная инспекция по экологической и технической безопасности при Правительстве КР.

Между тем, очевидно, что негативные экологические процессы могут разрядиться и разряжаются эмерджентными, взрывными последствиями, называемых чрезвычайными и, наоборот, стихийные бедствия (оползни, сели, обвалы, лесные и степные пожары и т.д. и т.п.), приводят к разрушению экосистем, снижению уровня экологической безопасности.

В Российской Федерации и Казахстане давно сформированы эффективные системы управления и контроля за природными ресурсами и экологической безопасностью в формате министерств природных ресурсов и экологии.

Для создания такой структуры не понадобятся дополнительные бюджетные средства, напротив они сократятся.

Необходимо подчеркнуть. В развитых странах давно отлажена современная система мониторинга, основанная на сочетании искусственного интеллекта, инженерной экологии и современных информационных технологий, разработанных специалистами-экологами Европейского Союза.

При соответствующей политической воле и, ссылаясь на Парижские соглашения по окружающей среде, Кыргызская Республика могла бы начать процесс внедрения передовой системы мониторинга в области управления собственными природными ресурсами и окружающей средой.

В частности для:

**а).** промышленных, городских и региональных управлений экологии Кыргызстана в области подготовки прогнозов (мониторинг соблюдения норм, раннее предупреждение), анализа сценариев распространения загрязняющих веществ для оптимизации управления и сведения к минимуму возможных последствий (с точки зрения здравоохранения и материальных убытков).

**б).** управления водными ресурсами Кыргызстана в направлении увеличения экономического и экологического эффекта от оптимизации распределения и управления качеством воды, регулировки и очистки стоков, увеличения эффективности сельского хозяйства, промышленного и бытового водопользования.

**в).** гражданской безопасности и защиты, моделирования в режиме реального времени возможных угроз и оценки рисков, связанных с событиями техногенного характера, позволяющих минимизировать риски для здоровья населения, управление в чрезвычайных ситуациях, планирование и подготовку.

**г).** Представляется, что передовой международный опыт применения методики расширенного численного анализа для широкого круга задач по оценке качества окружающей среды в комбинации с экологическими и социально-экономическими критериями позволит достичь максимальной выгоды от их использования.

Интегральный подход в мониторинге воссоздал бы комплексную картину распределения индивидуальных компонентов в окружающей среде, помог бы выявить последствия промышленных и транспортных выбросов и другие последствия человеческой деятельности, влияющие на здоровье населения.

Мониторинг загрязнений воздуха принадлежит к той существенной категории, где возможен автоматический сбор и обработка данных. Токсины, вдыхаемые людьми, оказывают немедленное влияние на их здоровье.

Всемирная Организация Здравоохранения в течение многих лет озабочена этой проблемой, в связи с чем важной задачей является использование высококачественного оборудования обеспечивающего реальную аналитическую информацию.

Основным элементом подобных систем мониторинга воздуха окружающей среды являются кондиционированные павильоны, включающие в себя следующие аналитические приборы:

1. Оптические газоанализаторы для мониторинга SO, NOX, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>.
2. Мониторы вдыхаемых частиц размером меньше чем 10 микрон и меньше чем 2,5 микрон.
3. Монитор ультратонких нанометрических частиц.
4. Анализатор летучих органических углеродов газовым хроматографом.
5. Анализатор компонентов серы.
6. Анализатор ртути (автоматический флуоресцентный метод).

7. Автоматический пробоотборник для 24 часового отбора воздуха и частиц с дальнейшим определением тяжелых металлов и полихроматических углеводородов.

Конечно, в случае с Кыргызстаном не все станции обязательно должны быть оборудованы одинаковым набором анализаторов. Конфигурация станций может зависеть от конкретных местных условий. Станции могут быть оборудованы метеорологическими сенсорами, позволяющими работать с моделирующими программами «Canyon effect» и должным образом оценивать данные загрязнений, а также радиационными сенсорами и мониторами шума.

Стратегический долговременный мониторинг диоксида и фурана (относительно направления ветра) также может быть легко установлен.

Как правило, станции мониторинга подобного рода контролируются специальными дата логгерами, контролирующими работу и калибровку аналитических приборов и создающими файлы данных для хранения информации о загрязнениях и калибровке. Собранные данные через регулярные интервалы передаются на систему центрального сервера, которая может быть общей в Кыргызстане для всех видов мониторинговых систем.

Все сведения от упомянутых выше числовых систем могут быть собраны в центральной компьютерной системе Министерства по чрезвычайным ситуациям или Министерства здравоохранения Кыргызской Республики, в которой указанные данные сохраняются и могут быть представлены по желанию в табличной или графической форме.

Центральная станция обеспечивает функции моделирования, а дисперсионная модель позволяет предсказать распределение загрязнений в разных частях города.

Эти модели могут служить инструментом для оценки рисков и принятия решений в случае аварий на производствах, рассчитать влияние промышленных и иных выбросов на качество воздуха окружающей среды.

К центральной системе могут иметь авторизованный доступ через интернет (или другие средства связи) правительственные и муниципальные ответственные лица, кыргызские экологи и НПО.

Питьевая вода является одним из основных аспектов экологической безопасности Кыргызстана и соседних стран.

Актуальность контроля качества питьевой воды потребует модернизации и изменения подходов к проблеме мониторинга: внедрение сети автоматических станций, совершенствование аппаратного обеспечения, в т. ч. и по причине того, что вода и воздух неразрывно связаны между собой в связи с постоянным интенсивным обменом между ними, являющимся составной частью понятия природного круговорота.

Современные автоматические системы мониторинга контроля качества питьевой воды требуют безусловного внедрения на территории Кыргызстана. В большинстве стран Европейского Союза успешно внедрены комплексные сети мониторинга, функционирующие согласно международным и национальным программам.

В случае озер или водохранилищ целесообразно внедрять систему мониторинга уровня и осадков в непосредственной близости от водоемов Кыргызстана. Это необходимо для того, чтобы операторы систем управления имели своевременную информацию для возможности предотвращения опасных ситуаций. В случае возможного забора воды с различных глубин уместно, чтобы плавающая встроенная система мониторинга постоянно измеряла глубину профиля, pH, мутность, органическое загрязнение, водоросли и, возможно, проникновение фотосинтетического излучения.

Для мониторинга бактериологического загрязнения существуют онлайн приборы, которые позволяют предупредить о загрязнении значительно быстрее, чем лабораторный анализ, который может продолжаться от нескольких часов до нескольких дней.

Для измерения токсичности воды из источника можно использовать и устройства, которые используют флуоресцентный эффект «Вибрио» бактерий. Преимуществом является спектр токсичной чувствительности, близкий человеческому организму.

Международный опыт аналитических решений для станций очистки сточных вод может также помочь повысить эффективность процесса обеспечения экологической безопасности и значительно сократить расходы на эксплуатацию установок очистных сооружений.

В канализационных системах европейские экологи особое внимание уделяют контролю критических загрязняющих веществ, осуществляемому автоматическими средствами отбора проб сточной воды.

Указанный прогрессивный подход позволяет получить репрезентативный анализ проб воды по загрязняющим веществам, для которых установлены предельные концентрации.

### **Выводы**

1. В первую очередь необходимо наладить мониторинг водных ресурсов, формирующихся в горах Кыргызстана и Таджикистана, а также и земельных ресурсов – являющихся основой продовольственной безопасности в засушливой Центральной Азии. В этой связи хотелось бы с особой силой напомнить трансграничный характер масштабных экологических кризисов и стихийных бедствий. В частности, хорошо известно, что вследствие высыхания Аральского моря сотни тонн солей и пыли переносится на ледники Тянь-Шаня, ускоряя их таяние и, как следствие, с угрозой потери основных источников пресной воды для всего центральноазиатского региона. Более того, отечественными учеными доказан перенос на ледники Тянь-Шаня сажи, горевших в 1992 году нефтяных скважин Кувейта.

2. Таким образом из вышеизложенного краткого обзора современных методов мониторинга за качеством окружающей среды и знания вызовов и угроз экологической безопасности, особенно вследствие глобального изменения климата, следует, что Кыргызская Республика и соседние страны остро нуждаются в современной интегрированной центральноазиатской системе мониторинга для обеспечения экологической безопасности.

### **Литература**

1. Боконбаев К. Дж. Экология, окружающая среда и безопасность Кыргызстана. Бишкек, 2004г, 174 с.
2. Национальная стратегия развития КР, Бишкек, 2012 г
3. Боконбаев К. Дж. Введение в синергетику и современная концепция экологии. Бишкек, 2011г, 292 с.
4. Боконбаев К. Дж. Проблемы устойчивого развития Кыргызстана. Бишкек 2013. 155 с.



## О ПРИРОДНЫХ РЕСУРСАХ И ДЕМОГРАФИИ

*Боконбаев К. Дж.*

## ON NATURAL RESOURCES AND DEMOGRAPHY

*Bokonbaev K.J.*

**Аннотация:** обосновывается зависимость социально-экономического развития от демографических факторов. Дефицит земельных и водных ресурсов их продолжающаяся деградация на фоне неконтролируемой, экспоненциально растущей численности населения остро ставит проблему обеспечения продовольственной безопасности в Центральной Азии. Целесообразно выявить какие превентивные политические, экономические, технологические меры следует предпринять для смягчения экологических, демографических угроз.

**Ключевые слова:** демография, деградация, природные ресурсы, человеческая популяция, плотность населения, биоклиматическое районирование, ресурсы.

**Abstract:** the dependence of socio-economic development on demographic factors is substantiated. The shortage of land and water resources and their ongoing degradation against the background of an uncontrolled, exponentially growing population sharply poses the problem of ensuring food security in Central Asia. It is advisable to identify which preventive political, economic, and technological measures should be taken to mitigate environmental, demographic threats.

**Key words:** demography, degradation, natural resources, human population, population density, bioclimatic zoning, resources.

**Введение.** Деградация и истощение жизнеобеспечивающих природных ресурсов: земельных, водных, атмосферных, биологических, минеральных – факт несомненный и связан этот процесс с экспансией человеческой популяции на экосистемы. Общеизвестно, что экосистемы - кладовые природных ресурсов, и они предоставляют их человечеству в виде экономических услуг.

**Методика исследований.** Репрезентативными расчетами установлено, что, начиная с 1970 года, человечество стало в возрастающей прогрессии превышать годовой лимит потребления природных ресурсов.

**Результаты исследований.** В 2015 году день перехода за установленный годовой лимит потребления прошел на 4 месяца и 17 дней раньше. (Джон Шрамски -Университет Джорджия США). Как видно из этого факта продовольственный запас экосистем обратно пропорционален численности людского населения. Иначе говоря, человечество безвозмездно изымает ресурсы из этой природной кладовой, нарушая практически все законы экологии, в частности принцип бережливости природы К. Бэра – В. Вернадского. При этом надо иметь в виду, что продуктовыми ресурсами экосистем также пользуется и животный мир, и сокращение их численности связано с захватом человеком их жизненного пространства. Ученые прогнозируют шестое великое вымирание в биологической истории планеты.

Проблема в том, что возможности экосистем и, в целом, биосферы ограничены: они лимитируются производством биомассы за счет энергии солнца усваиваемой продуцентами с эффективностью 0,1–1 %, редко 3–4,5 % от перво-

начального количества. Таким образом, с определенного времени конвергентные тренды приращения продуктов питания и численности людей становятся дивергентными. Изначальная ограниченность природных ресурсов Земли и сверхпотребительская парадигма человечества, инициирует конфликтную ситуацию. Практически все в истории войны, какими бы они поводами не маскировались: религиозными, идеологическими и иными, были борьбой семей, родов, племен, государств за природные ресурсы, за жизненное пространство.

Лимитирующее значение демографического фактора в социально-экономическом развитии человечества три столетия тому назад, в 1798 г, обосновал известнейший английский экономист Т. Р. Мальтус. В соответствии с его расчетами численность людей Земли растет в геометрической прогрессии (по экспоненте), а пищевых продуктов - в арифметической. Из этой теории вытекала необходимость регулирования численности людского населения. С этого времени дискуссии по этой сложной проблеме не утихают. Надо заметить, что согласно законам синергетики в глобальном измерении рост численности людей идет не по экспоненциальной зависимости, а по гиперболической и на определенном этапе тем или иным способом стабилизируется [1].

С. П. Капица отмечает, что эту закономерность ещё до второй мировой войны математически выявил шотландский демограф П. Маккендрик.

В региональном масштабе экспоненциальная закономерность подтверждается. Спустя 170 лет, в 1968 г., известные американские ученые-демографы Пол и Анна Эрлих в книге «Демографическая бомба» подтвердили основной вывод Т. Мальтуса: прогрессирующее сокращение пищевых продуктов вызывает необходимость контроля рождаемости людей. Заметим, что Природа, независимо от теорий людей регулирует размер популяций: вследствие недостатка пищи (шире - энергии) вступают в действие естественные механизмы регуляции. При чрезмерном возрастании популяции между ее особями усиливается внутривидовая конкуренция за пищу, место обитания и размножения. Механизмы такого рода естественной саморегуляции численности называются регуляторными, и они могут иметь как отрицательный, так и положительный знак.

Большинство социальных конфликтов в засушливой Центральной Азии, переходящие иногда в локальные вооруженные столкновения, происходили, происходят и будут происходить за поливную воду, пахотные земли, пастбища. Вот в историческом измерении «свежие» примеры: в июне 1990 года и в июне 2010 года на юге Кыргызстана произошли кровавые вооруженные конфликты между этническими узбеками и кыргызами. Поводы для конфликтов разные, но объективный анализ показывает, что глубинной причиной явился конфликт интересов за ресурсы: властные и земельные. Кто владеет властью, тот и другими ресурсами. Бескровные столкновения за землю между местным населением и внутренними мигрантами были и в Чуйской области.

Рассмотрим динамику человеческой популяции в Кыргызской Республике и в Средней Азии. Согласно данным Центрального Статистического Комитета Российской империи население Средней Азии в 1897 г составляло 9 млн. 631,3 тыс. чел.<sup>1</sup>. В настоящее время общая численность населения Центральной Азии - 69 млн. 600 тыс. человек. В Кыргызстане на 1 января 2019 года 6 млн. 389 тыс. 500 чел.

Важнейшим показателем устойчивости всех экосистем, в том числе и социальных, является плотность заселения участка земли популяцией. По официальным данным на 1 января 2019 г плотность заселения в Кыргызской Республике 32,0 чел/км<sup>2</sup>, из чего следует, что в стране есть ещё значительный резерв

---

<sup>1</sup> Динамика численности населения России за 1897-1914 г. Источник: ВИКИПЕДИЯ.

жизненного пространства. Однако данное значение ещё в 1990 г вызвало сомнение: в горах много мест, где постоянное проживание практически невозможно. Это вся нивальная зона - выше 3500 метров над уровнем моря, скалы, поверхность озер, склоны крутизной выше 45° С и др. Исключение этих зон дало среднее значение плотности по республике 100 чел/км<sup>2</sup> [2].

Позже Институт горной физиологии НАН КР осуществил биоклиматическое зонирование территории страны по степени воздействия среды обитания на физиологию и деятельность человека. Выделены зоны: некомпенсируемого дискомфорта – 45,8 %, относительного и компенсируемого дискомфорта – примерно 35,8 %, и только 18,4 % территории относятся к зоне комфорта [3].

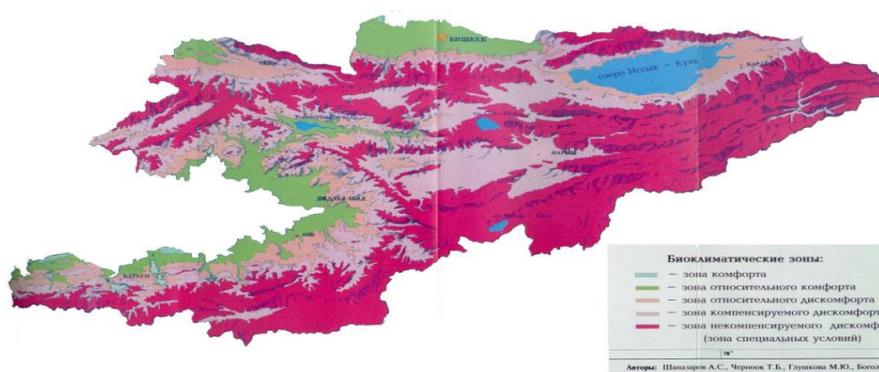


Рис. 1. Биоклиматическое районирование Кыргызстана

Если при расчёте средней плотности населения принять, что жизнедеятельность может осуществляться на 54% территории (18,4% + 35,8%), то средняя плотность будет 52 чел/км<sup>2</sup>, а если только в зоне комфорта (18,4%), то – 156 чел/км<sup>2</sup>.

Можно применить иную методику. Согласно расчетам Ю. Одума одному человеку необходимо всего 1,2 гектара: для полноценного питания - 0,6 га; производства разного рода волокна (хлопка, бумаги, древесины и др.) - 0,4 га; зданий, дорог - 0,2 га [4]. Для нашей страны примем минимум в один гектар. Тогда для шести миллионного населения необходимо шесть миллионов га или 60000 км<sup>2</sup>. По прогнозам к 2050 году население республики достигнет 8 миллионов 113 тысяч человек, т.е. потребуются более 80000 км<sup>2</sup> площади.

Между тем в Кыргызстане только 28,4% территории пригодно для ведения сельского хозяйства, главным образом для животноводства [5]. Из них 9 млн. га – это в основном луга и пастбища и лишь 1,2 млн. га – пахотные земли, из которых около 0,9 млн. га – орошаемые.

Необходимо иметь в виду, что приводимые данные по земельным ресурсам ориентировочные: в официальных и не официальных источниках они разнятся. Но, приблизительность данных принципиально не меняет общей картины ограниченности земельных ресурсов для численно растущего населения, усугубляющегося интенсивной деградацией всех категорий сельскохозяйственно пригодных земель.

Площадь пахотных земель в расчете на одного жителя неуклонно сокращается: за последние 20–25 лет она сократилась с 0,34 до 0,25 га, в том числе орошаемых – с 0,25 до 0,18 га. К 2025 г. прогнозируется дальнейшее сокращение - соответственно до 0,21 и 0,1 га [6,7].

Сколько земель *только для производства продуктов питания* приходится на душу населения в Кыргызстане? Площадь культурных земель составляет **0,27 га** на душу населения, т.е. *в три раза меньше*, чем необходимо просто для полноценного питания. Если при расчете исходить из всей площади сельскохозяйственных земель в 10,3 млн. га, то на душу населения (6 млн. 389 тыс. 500 чел.) приходится 1,7 га. Но, если принять во внимание, что минимум около 50 % сельхозугодий деградировано, то остается всего лишь 0,85 га на душу населения – это в среднем по стране.

По моим расчетам соотношение численности населения и пахотных земель на душу населения в 2003–2005 гг. достигло критического значения (рис. 2).

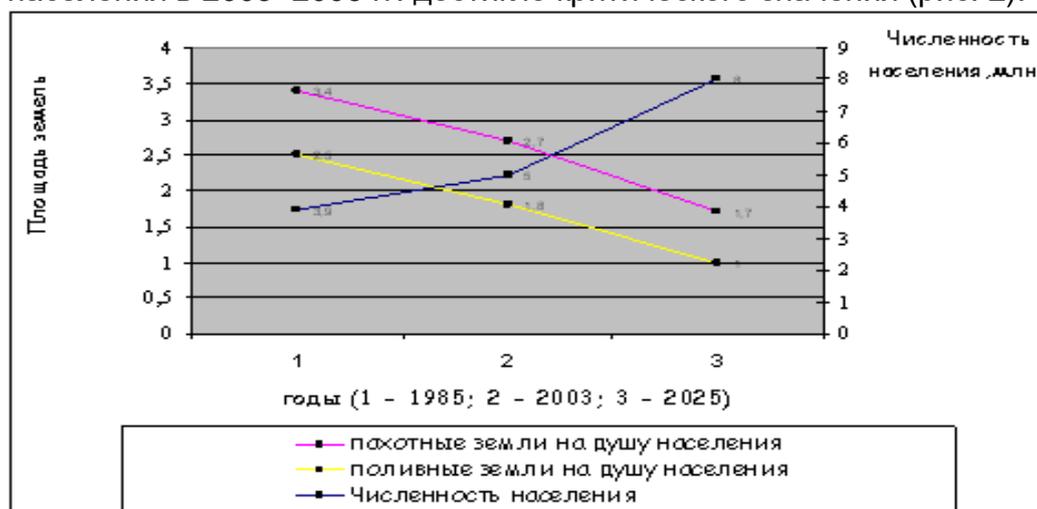


Рис. 2 - Динамика численности населения и пахотных земель в Кыргызстане [6].

Следует отметить, что ещё острее проблема обеспечения земельными ресурсами экспоненциально растущего населения в других республиках Центральной Азии, большую часть территории которых (648 тыс. км<sup>2</sup>) занимают пустыни и полупустыни (Кызылкумы, Каракумы).

Значительно разрушенное, загрязненное различными химикатами жизненное пространство Центральной Азии стремительно сужается.

Следовательно, растет и конфликтный потенциал за него.

В контексте вышеизложенного рассмотрим народонаселение в Центральной Азии. В сводках даются несколько разные цифры, но порядок близкий. Общая численность населения около 69,5 млн. человек (2017 г). (Рис. 3).

По прогнозным оценкам ООН и множества других международных организаций во всей Центральной Азии к 2030 г ожидается около 80 млн.; к 2050 году – 94-96 млн.

Наряду с земельными ресурсами в засушливой Центрально Азии решающее значение имеют водные ресурсы, состояние и перспективы которых вызывают обоснованную тревогу в связи с таянием ледников в горах Кыргызстана и Таджикистана [8,9,10,11].

Зарубежными и отечественными учеными доказано, что вследствие их деградации уже к 2030 году суммарный поверхностный водный сток рек сократится с 117–120 км<sup>3</sup>/год до 45-50 км<sup>3</sup>/год, а в 2050 году в пределах 20,4–42,4 км<sup>3</sup>/год [12].

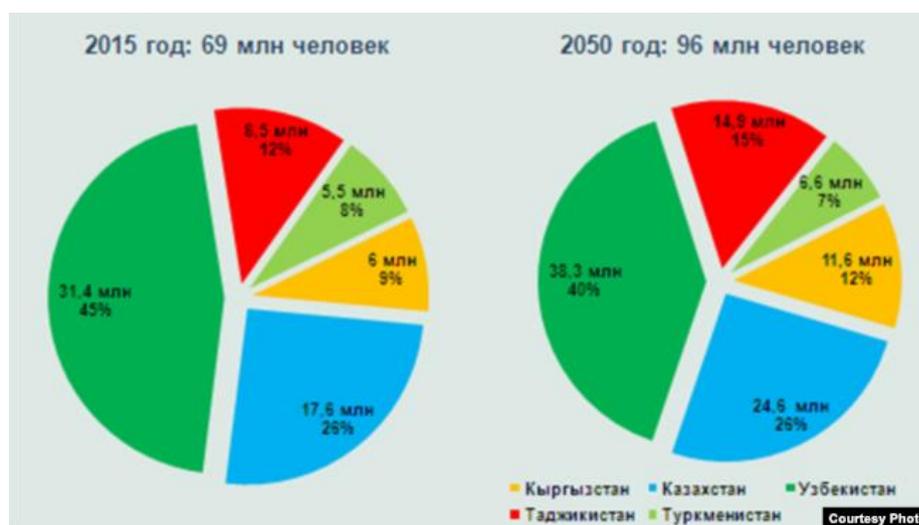


Рисунок 3 - Демографический прогноз для Центральной Азии (Источник - Национальный институт стратегических исследований КР)

## Выводы

1. Таким образом, дефицит земельных и водных ресурсов, продолжающаяся их деградация на фоне неконтролируемой, экспоненциально растущей численности населения остро ставит проблему обеспечения продовольственной безопасности в Центральной Азии.

2. Какие превентивные политические, экономические, технологические меры следует предпринять для смягчения экологических, демографических угроз? Вопросов больше, чем ответов.

## Литература

- Капица С. П. Глобальная демографическая революция// Международная жизнь. 2005. № 11. С. 91—105
- Боконбаев К. Дж. «Советская Киргизия», 13 января 1990 г. № 11
- Шаназаров А.С., Глушкова М.Ю., Черноок Т.Б. Биоклиматическое зонирование территории Кыргызской Республики: Методические рекомендации. – Б., 1996.
- Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1988
- Государственная регистрационная служба при Правительстве КР. Бишкек. 2018.г
- Боконбаев К. Дж. Экология, окружающая среда и безопасность Кыргызстана. Бишкек, 2004 г, 174 с.
- Национальная стратегия развития КР, Бишкек, 2012 г
- Будыко М.И. Глобальная экология. М., 1977.
- Боконбаев К. Дж. Введение в синергетику и современная концепция экологии. Бишкек, 2011 г, 292 с.
- Трансформация рисков в сотрудничество. Центральная Азия. Регион Фергана – Ош – Худжанд ЮНЕП, ПРООН, ОБСЕ, НАТО. 2005
- Кузьмиченок В.А. Вероятностная оценка возможной эволюции оледенения и стока Кыргызстана при прогнозируемых климатических изменениях // Матер. гляциологических исследований. М., 2009. Вып. 107. С. 10–24.
- Боконбаев К. Дж. Проблемы устойчивого развития Кыргызстана. Бишкек 2013. 155 с.

• • •

# ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ЗАСУХ И ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА

*Исаев Э.К., Омурзакова Ш.А.*

## LONG-TERM FORECAST OF DROUGHT AND PRECIPITATION IN THE TERRITORY OF KYRGYZSTAN

*Isaev E.K., Omurzakova Sh.A.*

**Аннотация:** В статье анализируется влияние модифицированной схемы параметризации атмосферного пограничного слоя в гидродинамической мезомасштабной модели WRF на качество прогноза метеорологических параметров на территории со сложным ландшафтом на примере Кыргызстана. Качество моделирования учитывается в зависимости от времени и шага сетки. Оценены возможности использования предикторов: ЦДА Азорский антициклон, Эль-Ниньо, Ла-Ниньо, квазидвухлетний цикл в стратосфере КДЦ, ТПО Индийского океана для долгосрочного прогноза осадков на территории Кыргызстана. Планируется, разработка и внедрение модели долгосрочного прогноза осадков и температуры, где выходная продукция модели будет служить в качестве начальных данных для модели засухи и урожайности

**Ключевые слова:** гидродинамическое моделирование; параметризация; WRF, осадки, прогноз, засуха, режим увлажнения, время, шаг сетки, ландшафт.

**Annotation:** The article analyzes the influence of modified scheme of parameterization of the atmospheric boundary layer in hydrodynamic WRF mesoscale model on the quality of forecast of meteorological parameters on the territory with difficult terrain on the example of Kyrgyzstan. The modeling quality is considered depending on the time and grid steps. The possibilities of using the predictors are estimated: the Central Azores Anticyclone, El Nino, La Nino, the quasi-two-year cycle in the stratosphere of the CDC, the Indian Ocean TVET for the long-term forecast of precipitation in Kyrgyzstan. It is planned to develop and implement a model for a long-term forecast of precipitation and temperature, where the output of the model will serve as initial data for the drought and yield model

**Key words:** hydrodynamic modeling; parameterization; WRF, precipitation, forecast, drought, humidification mode, time, grid pitch, landscape.

**Введение.** Засуха, будучи опасным агрометеорологическим явлением и неотъемлемой частью изменчивости климата, часто наносит ущерб засушливым и полузасушливым регионам Кыргызстана. Однако, на данный момент мониторинг и прогноз засух не производится в Кыргызстане.

В статье [1] анализируется мониторинг засух на территории Кыргызстана. Рассмотрено качество мониторинга в зависимости от типа засух и возможности прогнозирования засух с использованием стандартизированного индекса осадков. В заключении приводятся выводы и рекомендации о моделировании засух в Кыргызстане. Социально-экономическая востребованность прогностической метеорологической информации постоянно возрастает, особенно в связи с происходящими изменениями климата. Вместе с этим, до настоящего времени существует значительный уровень неопределенности долгосрочных метеорологических прогнозов (долгосрочными здесь и далее мы будем называть прогнозы на месяц и более длительные сроки).

Прогноз засух напрямую зависит от успешности прогноза осадков.

На сегодняшний день существующие мировые центры по долгосрочному гидродинамическому моделированию дают прогноз в открытом доступе с разрешением 1 градус (примерно 110 км). Это пространственное разрешение является очень грубой с учетом сложной орографии Кыргызстана и недостаточной точности моделирует выпадение осадков. Но глобальные долгосрочные гидродинамические модели достаточно качественно воспроизводят глобальные характеристики атмосферы.

**Методология.** Основной задачей исследования является выявление предикторов, использование которых может внести вклад в совершенствование методов долгосрочного прогноза осадков на территории Кыргызстана. Выбор потенциальных предикторов режима увлажнения производился с учётом современных представлений об особенностях макрометеорологических процессов Кыргызстана и их зависимости от глобальных характеристик атмосферы. В анализе в качестве предикторов рассматривались: температура поверхности Индийского океана, характеристики квазидвухлетнего цикла стратосферной циркуляции (КДЦ), характеристики Южного колебания и явления Эль-Ниньо, а также центр действия атмосферы (ЦДА) Азорский антициклон. Для оценки режима увлажнения Кыргызстана пространственно-осредненные рассматривались месячные и годовые суммы осадков по всей территории Кыргызстана на 12 основных станциях с 1896 по 2010 г., полученные по данным из архива Global Historical climatology Network (GHCN)[2].

В целях разработки долгосрочного прогноза осадков Кыргызстана, выбор потенциальных предикторов осуществлялся на основе представлений, влияющих на общую циркуляцию атмосферы. В их число включены температура поверхности Индийского океана, Азорский антициклон как центр действия атмосферы, явление Эль-Ниньо и Ла-Нинья и квазидвухлетнего цикла стратосферных переносов в тропической зоне [3].

В качестве характеристик ЦДА для долгосрочного прогноза осадков использовались максимальное давление Азорского антициклона и его местоположение (широта и долгота). По базе данных [4] вычислены средние характеристики Азорского антициклона для 10 самых сухих и влажных лет Кыргызстана по всем месяцам.

**Результаты численных экспериментов и их анализ.** Результаты расчета средних характеристик ЦДА для разных градаций осадков Кыргызстана представлены на рис. 1, из которого видно, что в январе усиление осадков наблюдается при смещении ЦДА на северо-запад, в мае при смещении на северо-восток. Явление Эль-Ниньо – это повышение температуры поверхностных вод в экваториальной зоне Тихого океана, неразрывно связанное с Южным колебанием, а Ла-Нинья – противоположная (холодная) фаза процесса Эль-Ниньо-Южное колебание (ЭНЮК). Событие Эль-Ниньо (Ла-Нинья) нарушают обычный цикл циркуляции в системе океан-атмосфера и оказывают заметное влияние на количество осадков в различных частях света [4], в том числе и в Кыргызстане, как было показано в данном исследовании.

Для оценки возможности использования явления Эль-Ниньо/Ла-Нинья для долгосрочного прогноза осадков в Кыргызстане вычислены повторяемости градаций сухих (Bb) и влажных (Aa) лет в годы этих явлений.

Результаты расчета повторяемости градаций осадков Кыргызстана при теплой и холодной фазах ЭНЮК представлены в табл.1.

По суммам градаций можно утверждать, что когда в мае наблюдается Эль-Ниньо то осадки в Кыргызстане будут ниже нормы, а если Ла-Ниньо, то выше нормы.

Квазидвухлетний цикл стратосферной циркуляции – чередование во времени западных и восточных зональных ветров так, что примерно один год господствуют западные ветры, а следующем году – восточные [5].

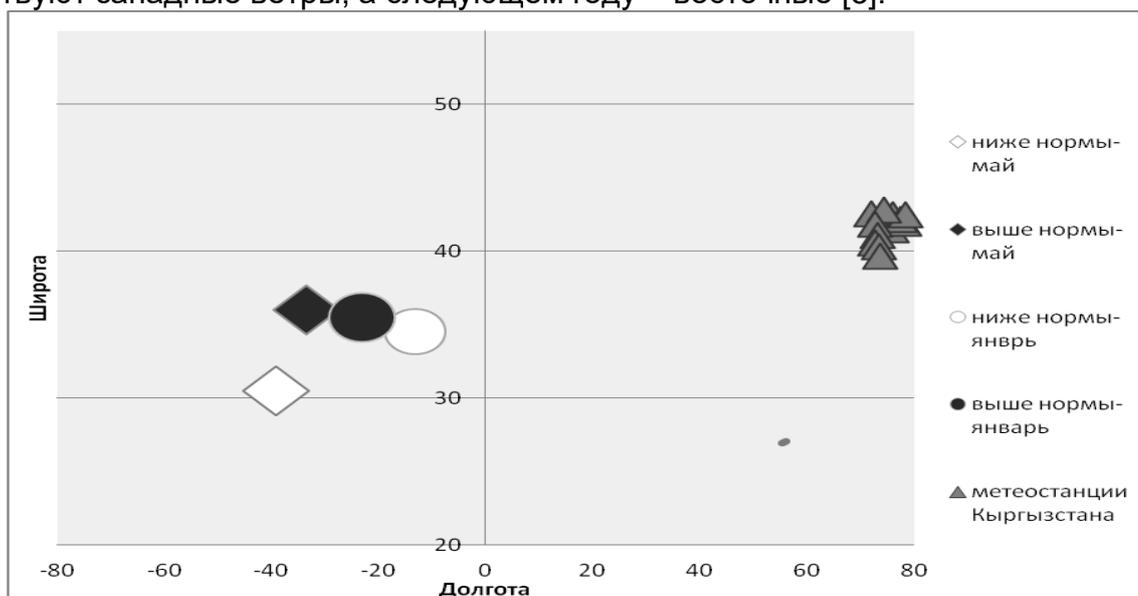


Рис.1 Географическое положение ЦДА при различных режимах увлажнения Кыргызстана

Таблица 1 Повторяемость осадков по градациям в годы Ла-Нинья и Эль-Ниньо. Май

Явление	Количество осадков, градация Aa	Количество осадков, градация Bb
Эль-Ниньо	12	7
Ла-Нинья	5:	6

При этом при смене ветрового режима в стратосфере изменяется характер увлажнения в глобальном масштабе.

Для оценки прогностического потенциала КДЦ рассчитывались повторяемости градаций осадков Кыргызстана в годы восточной и западной фазы КДЦ. Рекомендацией КДЦ в качестве предиктанта для долгосрочных прогнозов осадков Кыргызстана служит наличие противоположных тенденций при разных направлениях западного переноса в тропической зоне стратосферы.

Результаты расчёты повторяемости градаций осадков Кыргызстана при разных фазах КДЦ приведены в таблице 2.

Таблица 2. Повторяемость градаций осадков Кыргызстана в годы западной и восточной фаз КДЦ

Явление	Количество осадков, градация Aa	Количество осадков, градация Bb
Западная фаза КДЦ	10	4
Восточная фаза КДЦ	6	9

По суммам градаций можно утверждать, что когда в мае наблюдается западная фаза КДЦ, то количество осадков будет ниже нормы, если наблюдается восточная фаза КДЦ, то количество осадков будет выше нормы.

Построена статистическая модель прогноза годовых сумм осадков с использованием в качестве предиктора ТПО Индийского океана и статистическая модель с уравнением множественной регрессии с использованием в качестве

предикторов ТПО Индийского океана и ЦДА Азорского антициклона. Проведена оценка эффективности по бальной системе, которая приводится в табл. 3.

Таблица 3 Эффективность прогноза осадков Кыргызстана. Прогноза - с использованием ТПО Индийского океана; б- прогноз с использованием ТПО Индийского океана и ЦДА Азорский максимум

год	прогноз "а"		Наблюдение		балл "а"	прогноз "б"		балл "б"
	значение гра- дация	гра- дация	значение гра- дация	гра- дация		значение гра- дация	гра- дация	
1985	53,308	n	60	a	0,5	55,108	a	1
1986	53,308	n	54	n	1	51,657	n	1
1987	53,308	n	27	B	0	49,141	n	0
1988	53,308	n	99	A	0	56,675	a	0,5
1989	53,308	n	44	b	0,5	58,4	a	0
1990	53,308	n	48	n	1	56,516	a	0,5
1991	53,308	n	38	b	0,5	46,782	n	0,5
1992	53,308	n	59	a	0,5	56,358	a	1
1993	53,308	n	63	a	0,5	56,2	a	1
1994	53,308	n	64	a	0,5	56,2	a	1
средний балл					0,5			0,65

Из табл. 3 видно, что с дополнительным предиктором ЦДА Азорский антициклон эффективность прогноза годовых сумм осадков возрос на 15%.

### Заключение

Основной задачей работы являлась выявление предикторов, использование которых может внести вклад в совершенствование методов долгосрочного прогноза осадков на территории Кыргызстана. Поставленные задачи исследования решены и получены следующие результаты:

1. Выявлены и оценены возможности использования в качестве потенциальных предикторов: ЦДА Азорский антициклон, Эль-Ниньо, Ла-Ниньо, Квази-двухлетний цикл в стратосфере КДЦ, ТПО Индийского океана для долгосрочного прогноза осадков на территории Кыргызстана.

2. Дан прогноз осадков на территории Кыргызстана по уравнению множественной регрессии с использованием ТПО Индийского океана и ЦДА Азорский антициклона.

3. В дальнейшем планируется продолжить исследования по мониторингу и моделированию засухи в Кыргызстане. Для прогноза гидрологических, агрометеорологических, метеорологических засух необходим прогноз количество осадков и температуры за месяц-сезон-год.

4. В Кыргызгидромете планируется, разработка и внедрение модели долгосрочного прогноза осадков и температуры, где выходная продукция модели будет служить в качестве начальных данных для модели засухи и урожайности.

### Литература

- Исаев Э.К., Омурзакова Ш.А. О возможности выявления и моделировании засух в Кыргызстане // Вестник КРСУ, 2019, том 19, - в печати.
- The fourth assessment report of intergovernmental panel on climate change (IPCC) [Electronic resource]/WMO.Geneva,Switzerland,2007.846 p. Point access: //www.ipcc.ch
- Кондратович К.В., Куликова Л.А., Гринько М.В. Влияние центров действия атмосферы на режим увлажнения по континентам Земного шара //Вопросы промышленной океанологии. – М.: ВНИРОиздат, 2008.-208 с.
- Заявка №201062400 Российская Федерация. Характеристики центров действия атмосферы. Свид. о регистрации базы данных №2010620498; заявл. 20.07.2010; зарегистрировано в Реестре баз данных 14.09.2010.- 300 с.
- Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. Уч. пос.-СПБ: РГГМУ, 2006.- 84 с.

**ОЦЕНКА МОДИФИЦИРОВАННОЙ СХЕМЫ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ  
ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ СО СЛОЖНЫМ  
РЕЛЬЕФОМ**

*Исаев Э.К.*

**EVALUATION OF A MODIFIED PARAMETRIZATION SCHEME OF THE BOUND-  
ARY LAYER OF THE ATMOSPHERE OVER THE COMPLEX TERRITORY AREA**

*Isaev E.K.*

**Аннотация:** В статье анализируется влияние модифицированной схемы параметризации атмосферного пограничного слоя в гидродинамической мезомасштабной модели WRF на качество прогноза метеорологических параметров на территории со сложным ландшафтом на примере Кыргызстана. Качество моделирования учитывается в зависимости от времени и шага сетки. Рекомендуются повысить качество описания пограничного слоя атмосфер, используя модифицированную схему ППС, так как увеличение пути смешения и коэффициента турбулентного обмена приводит к лучшему описанию перестройки метеорологических полей под воздействием натекающего потока и местной циркуляции. Использование пространственного разрешения 5 км является оптимальным для моделирования атмосферных процессов на территории Киргизии.

**Ключевые слова:** гидродинамическое моделирование; параметризация; WRF, сели и паводки, температура, ветер, метеорологические процессы, атмосфера.

**Abstract:** The article analyzes the influence of the modified scheme of parametrization of the atmospheric boundary layer in the hydrodynamic mesoscale model WRF on the quality of forecasting meteorological parameters in a territory with a complex landscape using the example of Kyrgyzstan. The quality of the simulation is taken into account depending on the time and step of the grid. It is recommended to improve the quality of the description of the atmospheric boundary layer using a modified PPP scheme, since an increase in the mixing path and turbulent exchange coefficient leads to a better description of the restructuring of meteorological fields under the influence of an influx and local circulation. The use of a spatial resolution of 5 km is optimal for modeling atmospheric processes in the territory of Kyrgyzstan.

**Key words:** hydrodynamic modeling; parameterization; WRF, mudflows and floods, temperature, wind, meteorological processes, atmosphere.

**Введение.** Наличие орографических, и как следствие, термических и динамических неоднородностей подстилающей поверхности приводит к появлению особенностей в развитии атмосферных процессов. Задача составления прогноза погоды в местности со сложным рельефом усложняется при использовании гидродинамического подхода. Это объясняется тем, что в этом случае мезомасштабные особенности рельефа способствуют возникновению явлений и процессов подсеточного масштаба, которые требуют особого подхода к своему описанию – параметризации. Целью данной работы является усовершенствование системы гидродинамического моделирования атмосферных процессов для повышения качества гидродинамического прогноза погоды в горной местности. В этой, как и в предыдущих работах [1] и [2], в качестве исследуемого региона была выбрана территория Киргизии, где 94% территории занимают горы с высотой около 3000 м над уровнем моря.

Наибольшую опасность воздействия на экономику, сельское хозяйство и население Киргизии представляют стихийные гидрологические явления. Из гидрометеорологических стихийных явлений самыми опасными являются сели и паводки, возникающие в результате таяния снега и ливневых дождей. Кроме того, на территории Киргизии располагаются 2000 высокогорных прорывоопасных озер. А также ежегодно регистрируется от 800 до 1500 сходов снежных лавин различного объема. Большинство лавин невозможно обследовать из-за неосвоенности и труднодоступности обширных площадей горных территорий [3]. Прогноз гидрометеорологических стихийных явлений напрямую связан с прогнозом осадков. Из всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что своевременный прогноз осадков дает возможность предупреждения наиболее опасных стихийных явлений.

**Методология.** Для описания эволюции атмосферных процессов на территории Кыргызстана использовалась гидродинамическая мезомасштабная модель WRF [4].

Одной из важнейших задач работы является оценка модифицированной схемы параметризации пограничного слоя атмосферы (ППС).

Область моделирования охватывает всю территорию Киргизии, а также некоторые страны Центральной Азии. Для корректного описания процессов используется равноугольная коническая проекция Ламберта в декартовой системе координат.

Прогностическая сетка содержит 281 узел с запад на восток и 186 узлов с юга на север, горизонтальное разрешение 5 км и 35 уровнями по вертикали, шаг по времени 30 секунд. Начальные и граничные условия получены из реанализа Национального Центра Атмосферных Исследований (NCAR) [5].

В данной статье анализируются результаты 210 численных экспериментов заблаговременностью 48 часов для мая 2015 года. Верификация результатов моделирования проводилась по наблюдениям на 31 метеорологической станции.

В ранних работах [1], [2], [6-7] описана адаптация и выбор лучшей конфигурации модели WRF, описана модифицированная схема ППС к региону исследования со сложным рельефом – территории Кыргызстана.

**Результаты численных экспериментов и их анализ.** Результаты численных экспериментов с представлены на рис. 1.

Анализ суточного хода средне относительной ошибки температуры, осредненного по 30 реализациям, для станции Кара-Балта (рисунок 1) показывает улучшение моделирования температуры с использованием модифицированной схемы ППС. С целью возможного улучшения качество моделирования атмосферных процессов, были проведены численные эксперименты с использованием модифицированной схемы ППС на сетках с более высокими пространственными разрешениями.

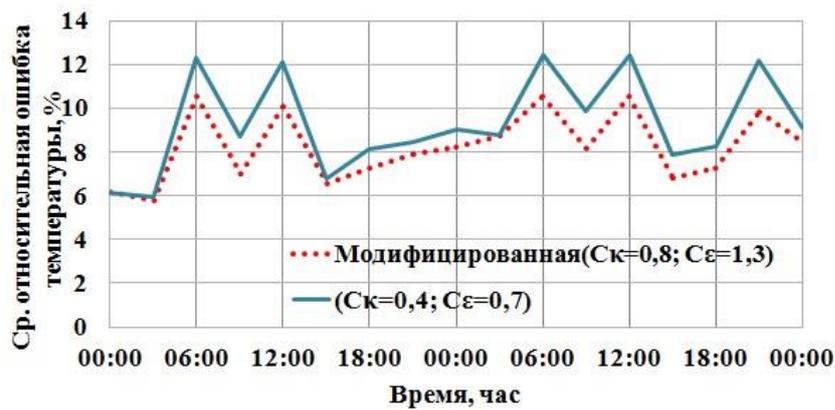


Рис. 1 – Суточный ход средней относительной ошибки прогноза температуры для старой и модифицированной схемы ППС

Сетки, используемые в численных экспериментах: **а)** 562 узлов с запад на восток и 372 узлов с юга на север, с горизонтальным разрешением 2,5 км и шагом по времени 15 секунд; **б)** 1124 узлов с запад на восток и 744 узлов с юга на север, с горизонтальным разрешением 1,25 км и шагом по времени 6 секунд;

При проведении численного эксперимента с пространственным разрешением 1,25 км возникла вычислительная неустойчивость и привела к нереально сильному росту скорости ветра (рис. 2 и 3).

На рисунке 4.11 представлены поля горизонтальной скорости ветра на пятом шаге интегрирования по времени (24 секунд), когда возникла вычислительная неустойчивость, которая привела к остановке моделирования. Вычислительная неустойчивость возникла в высокогорном регионе, где горные хребты достигают до 4-6 км и имеют крутые склоны (рис. 2). Моделируемая горизонтальная скорость ветра в этом регионе достигла 120 м/с.

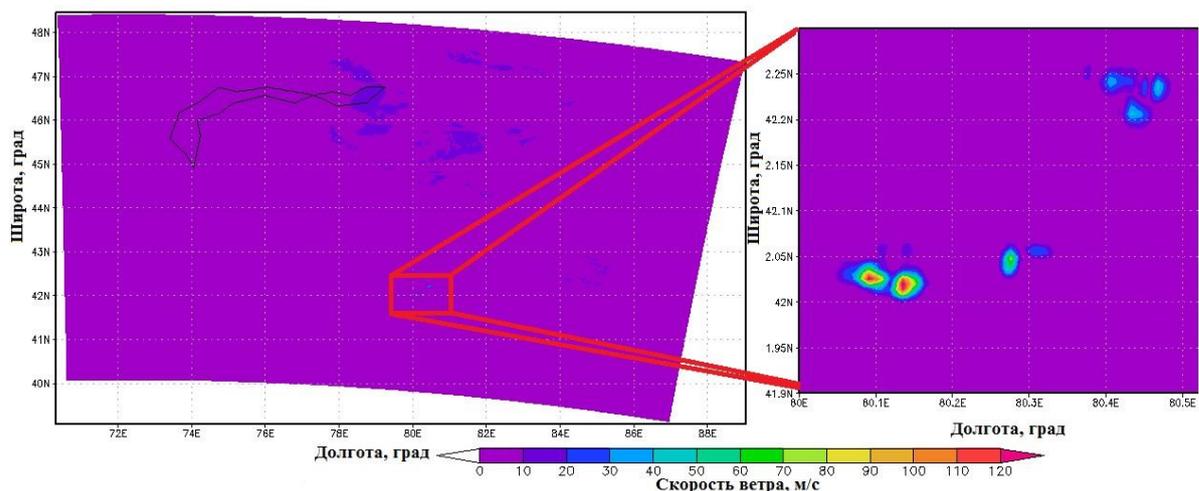


Рис. 2 – Скорость ветра по горизонтали

Анализ полученных результатов моделирования показывает сильный рост вертикальной скорости (рисунок 3 а), которая достигла -1800м/с и привела к остановке моделирования.

Для борьбы с вычислительной неустойчивостью использовали демпфирование акустических мод ( $w\_damping$ ). Для того чтобы увеличить точность метода

расщепления интегрировали акустические моды, используя меньший акустический шаг внутри большого шага схемы Рунге-Кутты (РК3). А также использовали по ранее описанной (7) акустический коэффициент демпинга –  $\beta=0,8$ , вместо 0,1.

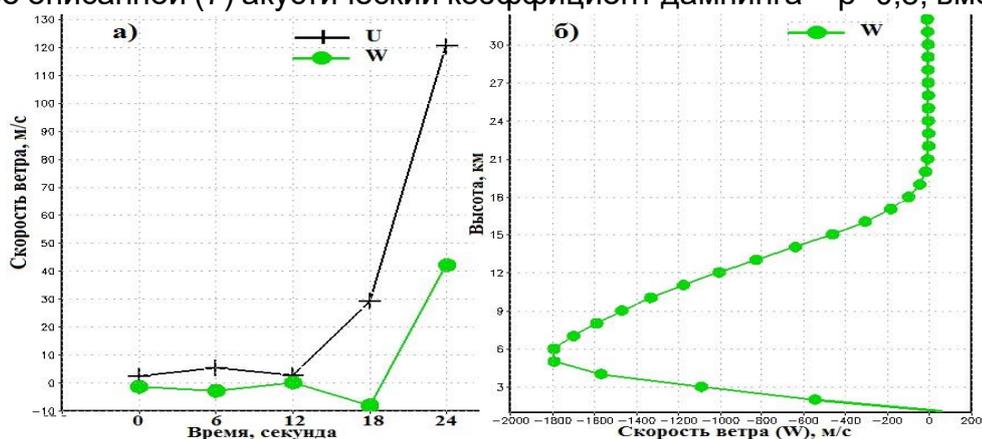


Рисунок 3 – Скорость ветра в узле возникновения вычислительной неустойчивости: а) временной ход горизонтальной и вертикальной скорости ветра, б) вертикальная скорость перед «вычислительным коллапсом»

Результаты численных экспериментов с модифицированной схемой ППС на сетках (5 км, 2,5 км и 1,25 км) и результаты моделирования GFS (Global Forecasting System – Глобальная Система Прогноза) [80] с пространственным разрешением 28 км приведены на рисунке 4.

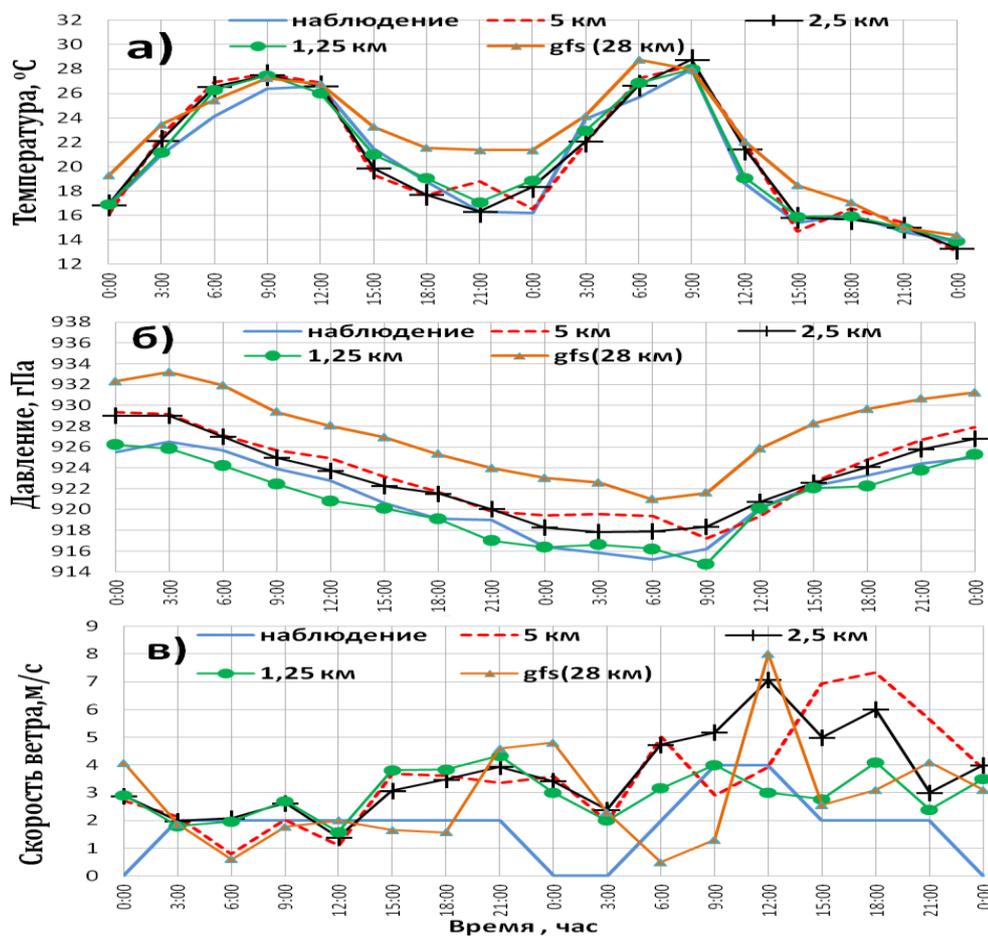


Рисунок 4 – Прогностические метеорологические поля

В результатах численных экспериментов (рис. 4) наблюдается улучшение качества моделирования метеорологических полей с увеличением пространственного разрешения модели, но стоит отметить, что время вычисления увеличилось. Прогноз с заблаговременностью 48 часов на вычислительной технике Кыргызгидромета занял:

- для пространственного разрешения 5 км — 6 часов;
- для пространственного разрешения 2,5 км — 46 часов;
- для пространственного разрешения 1,25 км — 336 часов.
- 

Переход на более мелкие сетки улучшает качество моделирования атмосферных процессов, но при существующих вычислительных ресурсах использования пространственного разрешения 5 км является оптимальным для моделирования атмосферных процессов на территории Кыргызстана.

### **Выводы**

1. Повысить качество описания пограничного слоя атмосферы можно, используя модифицированную схему ППС, так как увеличение пути смешения и коэффициента турбулентного обмена приводит к лучшему описанию перестройки метеорологических полей под воздействием натекающего потока и местной циркуляции.
2. Использование пространственного разрешения 5 км является оптимальным для моделирования атмосферных процессов на территории Киргизии.

### **Литература**

1. Исаев Э.К. Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов в Кыргызстане / Э.К. Исаев // Вестник КРСУ, 2014, том 14, вып.7с. 49-53.
2. Исаев Э.К., Анискина О.Г. Влияние схем параметризации микрофизических процессов на качество прогноза атмосферных процессов в районе со сложным рельефом на примере территории Кыргызстана// Ученые записки, 2015, вып. 38, С. 118–125.
3. Улучшение гидрометеорологического обеспечения в Кыргызской Республике. - М.: Алекс, 2009, С. 4-5.
4. NCAR description of the Advanced Research WRF Version 3 [Electronic resource] / W.C. Skamarock, J.B. Klemp, J. Dudhia, D.O. Gill, D.M. Barker, M.G. Duda, X. Huang, W. Wang, J.G. Powers // NCAR Technical Note. – 2008. – NCAR/TN–475+SR.–Mode of access: [http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw\\_v3.pdf](http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v3.pdf).
5. National Centers for Atmospheric Research`s [Electronic resource]: CSIL Research Data Archive. URL: <http://www.rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/#access>
6. Исаев Э.К., Мостаманди С.В., Анискина О.Г. Оценка влияния параметризаций физических процессов в гидродинамической модели WRF на качество прогноза атмосферных процессов в районе со сложным рельефом на примере территории Киргизии// Ученые записки РГГМУ, 2015. вып. 40, С. 30–41.
7. Исаев Э.К., Анискина О.Г., Мостаманди С.В. Оценка влияния параметризаций планетарного пограничного слоя в гидродинамической модели WRF на качество прогноза атмосферных процессов в районе со сложным рельефом//Труды ГГО. 2017. вып. 584,–С. 123–142



**МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ  
В ВОДАХ РЕК НАРЫН, МАЛЫЙ И БОЛЬШОЙ НАРЫН.**

*Кожобаев К.А., Оторова С.Т., Тотубаева Н.Э., Асанов Б.Д.*

**MONITORING STUDIES OF TRACE ELEMENTS IN WATERS NARYN SMALL  
AND BIG NARYN RIVERS**

*Kojobaev K.A., Otorova S.T., Totubaeva N.E., Asanov B.D.*

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследования с 2002 года и до настоящего времени содержания микроэлементов в водах рек Нарын, Малый и Большой Нарын. В верховьях реки Большой Нарын – Нарын находится одно из крупных месторождений золота в мире «Кумтор», которое активно разрабатывается с 1997 года, поэтому эти исследования являются актуальными. Исследования проводились на различных спектрометрах в 2002-2004гг (1-й этап); 2004-2005гг (2-й этап); с 2011г и по н. вр. (3-й этап). По результатам всех этапов исследований выявлено, что в среднем концентрации для абсолютного большинства микроэлементов в водах рек Большой Нарын и Нарын заметно (от 1,2 до 2-х и более раз) выше, чем в водах реки Малый Нарын. Таким образом, можно говорить о заметном влиянии разработки месторождения «Кумтор» на содержание микрокомпонентов в близлежащих природных водах. Исследования также показали, что закон Кларка-Вернадского получает подтверждение и в наших исследованиях - при использовании сверхчувствительного спектрометра AAnalyst 800 были обнаружены элементы с концентрациями вплоть до малых долей микрограмма на килограмм.

**Ключевые слова.** Река Нарын, река Большой Нарын, река Малый Нарын, концентрация микроэлементов, спектрометры.

**Abstract.** The article presents the results of a study from 2002 to the present time the content of trace elements in the waters of the Naryn, Small and Big Naryn rivers. In the upper reaches of the Bolshoi Naryn - Naryn River there is one of the largest gold deposits in the world "Kumtor", which has been actively developed since 1997, so these studies are relevant. The studies were conducted on various spectrometers in 2002-2004 (stage 1); 2004-2005 (2nd stage); from 2011 to the present (3rd stage). According to the results of all stages of research, it was found that on average the concentrations for the vast majority of trace elements in the waters of the Bolshoi Naryn and Naryn rivers are noticeably (1.2 to 2 times or more) higher than in the waters of the Maly Naryn river. Thus, we can talk about a noticeable effect of the development of the Kumtor deposit on the content of microcomponents in nearby natural waters. Studies have also shown that the Clark-Vernadsky law is also confirmed in our studies - using the ultra-sensitive AAnalyst 800 spectrometer, elements with concentration up to small fractions of a microgram per kilogram were detected.

**Key words.** The Naryn River, the Bolshoi Naryn River, the Small Naryn River, the concentration of trace elements, spectrometers.

**Введение.** Вследствие того, что в верховьях реки Большой Нарын – Нарын находится крупнейшее в Кыргызской Республике и одно из крупных месторождений золота в мире «Кумтор», которое активно разрабатывается с 1997 года, особую актуальность имеют независимые исследования влияния этого месторождения на окружающую среду и, в частности, на природные воды. Начиная с 2002 года и практически вплоть до настоящего времени года авторы исследовали и анализировали микрокомпонентный состав вод реки Нарын и двух рек, Малый и Большой Нарын, после слияния которых река получает название Нарын, являющаяся основной составляющей одной из двух крупнейших рек Центральной Азии – реки Сыр-Дарья. Изучение же состава, в том числе и химического состава вод, является важнейшим фактором определения потенциальных ресурсов природных вод.

**Методика исследований.** Исследования проводились поэтапно. **На первом этапе** полевые и лабораторные исследования проводились с июня 2002 года и до апреля 2004 года.

Эти исследования проводились в рамках разных экологических программ, но за счет собственных средств части авторов. Причем, анализ содержания микрокомпонентов в пробах вод, отобранных 6 раз в разные сезоны года в 2002-2004 гг проводился на спектрометре с атомно-эмиссионным приближенно-количественным методом и с испарением пробы из канала угольного электрода. Данная методика позволяет обнаружить до порядка 50-ти элементов, и эта методика, в частности, применялась в Центральной лаборатории Государственного агентства по геологии и минеральным ресурсам при Правительстве Кыргызской Республики (ныне это ведомство носит название «Государственный Комитет промышленности, энергетики и недропользования КР») и анализы были проведены там [1].

Так как наиболее часто будут анализироваться данные по 4-м пунктам, ниже даются некоторые данные по ним, полученные на первом этапе исследований. Места отбора проб и некоторые другие данные см. табл. 1.

Таблица 1- Описание мест отбора проб, среднемноголетние примерные расходы рек в местах отбора проб воды и средний сухой остаток проб, мг/кг

№ точек отбора проб	Описание Мест Отбора проб	Примерный расход воды в реке в месте отбора проб, м <sup>3</sup> /сек	Средний сухой остаток, мг/кг
2	Малый Нарын – перед слиянием с р. Б. Нарын	40,3	186
3	Большой Нарын – перед слиянием с р. М. Нарын	45,8	200
1	Река Нарын - после слияние двух рек Малый и Большой Нарын	~ 86	202
4	Река Нарын – перед г. Нарын и впадением в нее реки Шаркыратма	90-100	189

**На втором этапе** анализ содержания микрокомпонентов в пробах вод, отобранных в тех же местах, как и в 1 этапе, в 2004-2005 гг (4 даты отбора проб) проводился на спектрометре методом атомно-эмиссионного анализа с индуктивно связанной плазмой в лаборатории компании «Stewart Assay and

Environmental Laboratories LLC», кратко «SAEL LLC», аккредитованной, согласно Международного стандарта качества ISO 9002 [2-3].

**На третьем этапе** полевые и лабораторные исследования проводились в рамках проекта NATO SfP 983945 «Оценка трансграничного загрязнения воды в Центральной Азии». Проект был начат в 2011 году, отчет был сдан в конце 2015 г и окончательно принят в марте 2016 года [4]. Наиболее активная и плодотворная фаза проведения полевых и лабораторных исследований, по результатам которых были получены более или менее надежные данные, пришлось на лето и осень 2013 и на весну, лето и осень 2014 года. Однако для ограниченного объема статьи, в статье рассматриваются данные только за 2013 год. В зимние месяцы отбор проб не производился. Анализ содержания микрокомпонентов в пробах вод проводился на современном атомно-абсорбционном спектрометре AAnalyst 800 и системы проточно-инжекционного анализа FIAS 100 - под строгим контролем профессора Химического факультета Норвежского университета науки и технологии Эйлива Стейнеса. К третьему же этапу отнесены и дополнительные исследования автором содержания в водах микроэлементов в рассматриваемом участке.

**Полученные результаты и их обсуждение.** По результатам 1го этапа исследований выявлено, что в среднем концентрации из обнаруженных 13 элементов для абсолютного большинства из них в водах Большой Нарын и Нарын заметно выше (см. рис. 1), чем в водах реки Малый Нарын. Содержание марганца примерно равное, содержание меди примерно на 25% ниже. Элементы галлий, серебро, ванадий были исключены из рассмотрения ввиду не репрезентативности полученных данных. Также временно, для уточнения и координации с другими данными, был исключен из рассмотрения никель, потому что указанное выше отношение для этого элемента составило 136,5.

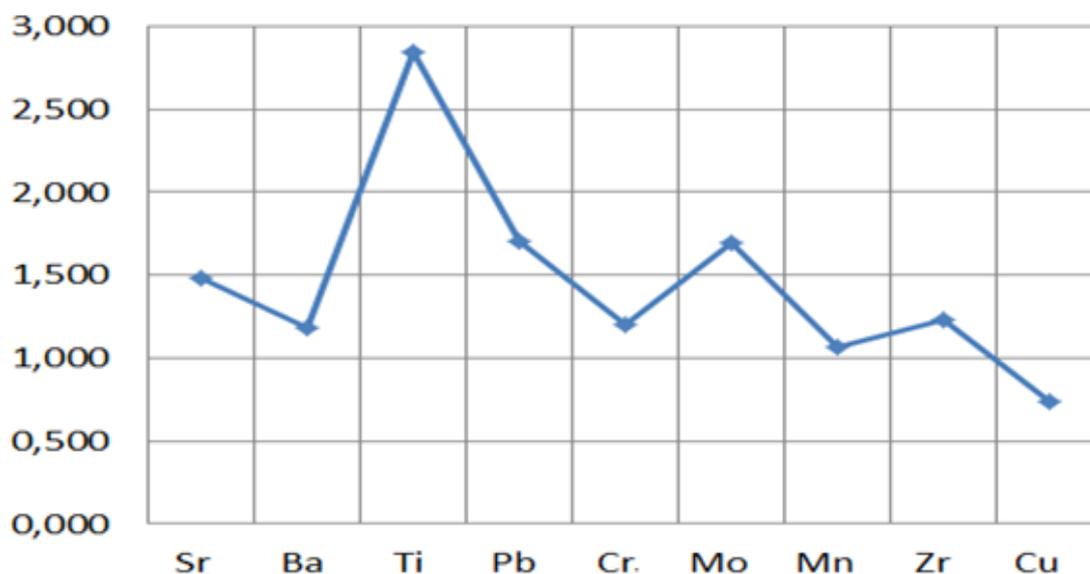


Рис. 1. Отношение средних концентраций элементов по рекам Большой Нарын и Нарын к средней концентрации элементов по рекам Малый Нарын

**На втором этапе** из тех же точек, что и на первом этапе исследований, подобным же образом отбирались пробы и они отдавались на анализ «SAEL LLC». Нам были представлены данные по нижеследующим микро (и мезо) элементам (элементы, для краткости, даны в виде химических обозначений): **Ag**, Al, **As**, Ba, **Be**, **Cd**, Co, Cr, Cu, Fe, **Hg**, Mn, Mo, Ni, **Pb**, Sb, **Se**, Si, **Tl**, V, Zn, **CN**. Из

рассмотрения были исключены те элементы, в которых число значимых (отличных от нуля) значений было равно 0.

К таким элементам относятся выделенные жирным шрифтом, а именно Ag, As, Be, Cd, Hg, Pb, Se, Tl – 8 элементов. Обобщения по остальным элементам по тем же 3 пунктам отбора проб приведены ниже.

**По результатам более точного 2го этапа исследований** выявлено, что в среднем концентрации из обнаруженных 12 элементов, только 5 из которых имеют одинаковые элементы с первым этапом исследований, практически для всех из них в водах Большой Нарын и Нарын намного выше (см. рис. 2), чем в водах реки Малый Нарын. Как видно из рисунка 2 - в 2,5 и более раза выше содержание таких элементов как алюминий, медь, железо, марганец и цинк.

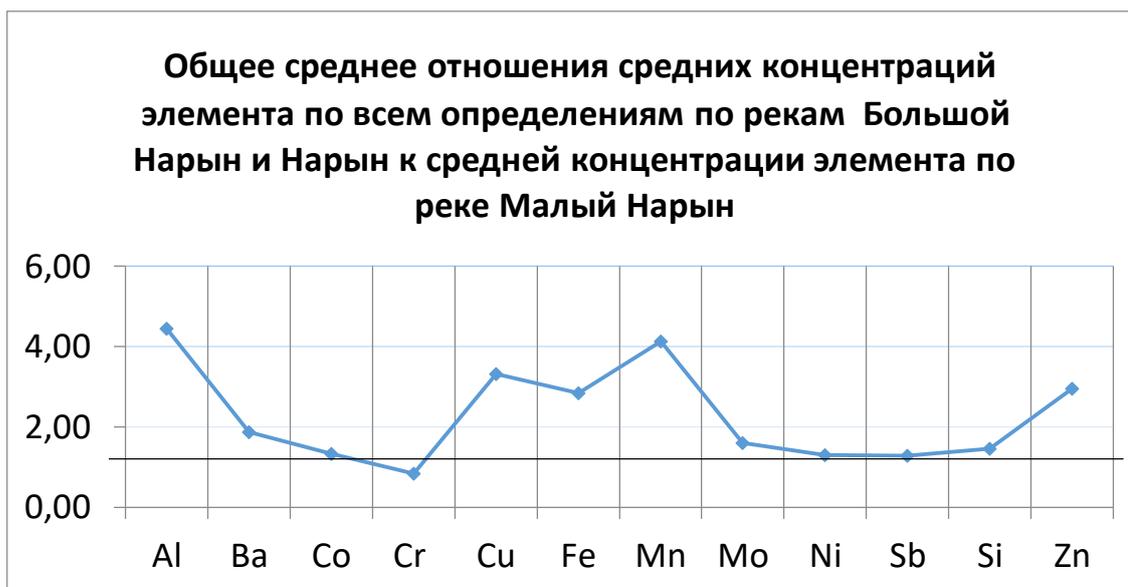


Рис. 2.

**Основной целью третьего этапа исследований**, выполненного в рамках вышеназванного проекта НАТО была оценка уровня загрязнения и трансграничного переноса некоторых токсичных металлов (Хрома, Никеля, Меди, Цинка, Мышьяка, Молибдена, Кадмия, Свинца и Ртуты) в реке Нарын-Сыр-Дарья в Кыргызстане, Узбекистане, Таджикистане, Казахстане и закладка основ для постоянной совместной программы мониторинга в регионе [1].

Для целей настоящей статьи, будут рассмотрены только два пункта из 12 исследованных в КР: река Тарагай - после смешения с ней реки Кумтор и р. Нарын - перед городом Нарын. Как видно, только одна точка, р. Нарын - перед городом Нарын, примерно совпадает с местом отбора проб предыдущих этапов исследований.

Анализ данных показал, что полученные по проекту НАТО, на третьем этапе исследований далеко не совпадают с данными предыдущих исследований. Данные, полученные при выполнении проекта НАТО, по тем элементам, которые были определены и при втором этапе исследований (никеля, меди, хрома и цинка), кроме молибдена, получились намного более (на порядок и более) низкими?! Лишь средние концентрации молибдена по результатам анализа в «SAEL LLC», получились равными 0,008 мг/кг, а при исследованиях по проекту НАТО – 0,0044 мг/кг.

Причем можно отметить, что закон Кларка-Вернадского получает подтверждение и в наших исследованиях: при использовании сверхчувствительного

атомно-абсорбционного спектрометра AAnalyst 800 были обнаружены все элементы – с концентрацией вплоть до малых долей микрограмма на килограмм. Поэтому, не приводя результатов выполнения проекта НАТО, скажем только, что отдельные исследования вод рек района разработки месторождения «Кумтор», особенно воды речки большой Сары-Тор, вытекающей из под сползающих отвалов и ледника, показали, что в них концентрации некоторых элементов имеют очень высокие значения [5].

### **Заключение**

В результате многолетних исследований, с анализами вод в трех различных лабораториях и с применением трех спектрометров разной чувствительности (точности определения) на содержание микроэлементов в водах рек Малый и Большой Нарын, реки Нарын можно сделать следующие основные выводы.

1. В водах реки Большой Нарын и Нарын содержание абсолютного большинства микроэлементов до нескольких раз превышает их содержание в водах реки Малый Нарын, что говорит о заметном влиянии разработки месторождения «Кумтор» на содержание микрокомпонентов в близлежащих природных водах.

2. Так как старыми спектрометрами не обеспечивается обнаружение многих микроэлементов, содержащихся в водах в десятых и менее долях микрограмма на килограмм, то, во избежание лишних затрат труда, времени и средств, для исследования содержания микроэлементов в природных водах следует применять только современные спектрометры.

### **Использованные источники информации**

1. Методика предприятия МП 28-99. Определение атомного состава горных пород атомно-эмиссионным приближенно-количественным методом при испарении из канала угольного электрода: ГАГИМР при ПКР, Центральная лаборатория. Бишкек. 1999 г.-15 с.
2. Стейнес Э., Садыров О., Кожобаев К. и др. Предварительные результаты выполнения проекта NATO SfP 983945 «Оценка трансграничного загрязнения воды в Центральной Азии» в Кыргызской Республике. //Матер. Межд.конф. «Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии». Бишкек, 2014. – 456 с. С. 362-367.
3. Кожобаев К.А., Молдогазиева Г.Т., Тотубаева Н.Э., Оторова С.Т. Геоэкологические проблемы, связанные с деятельностью горнодобывающих предприятий Кыргызской Республики. //Горный журнал. № 8 (2229) 2016 г., С. 32-37.
4. Assessing Transboundary Water Pollution in Central Asia (SfP 983945). Final Report. Project Co-Directors Prof. EilivSteinnes, Trondheim, Norway (NPD). Prof. Zafar-Razykov, Hudjand, Tajikistan, Prof. OktiabrinSadyrov, Bishkek, Kyrgyzstan (PP), Prof.MasturaAripova, Tashkent, Uzbekistan, Prof. UylesbekBesterekov, Shymkent, Kazakhstan. Project duration: July 2011 – June 2015. Report prepared by Prof. E. Steinnes, Prof. O. Sadyrov and Prof. K. Kojobaev. November 25, 2015. 29 p.
5. Кожобаев К.А., Оторова С.Т. О возможной роли антропогенных факторов в геохимии вод бассейна верхнего Нарына. //Вестник КНУ им. Ж. Баласагына (спецвыпуск трудовмеждународнойконференции). Бишкек: 2012г.-С. 114-120.



**ВЛИЯНИЕ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ НА СТОК И ПРОГНОЗ ПОВОДОДЬЯ НА РЕКЕ ГУНТ (ПРИТОК РЕКИ ПЯНДЖ, БАСЕЙН РЕКИ АМУДАРЬЯ, ТАДЖИКИСТАН).**

*Ниязов Дж.Б., Калашникова О.Ю., Мирзохонова С.О.,  
Наврузшоев Х.Д.*

**THE IMPACT OF METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS ON THE RUNOFF AND THE FORECAST OF FLOOD OF THE GUNT RIVER (THE TRIBUTARY OF THE RIVER PANJ, AMUDARYA BASIN, TAJIKISTAN).**

*Niyazov J.B., Kalashnikova O.Yu., Mirzokhonova S.O.,  
Navruzshoev H.D.*

**Аннотация:** Исследование режима в зоне формирования стока бассейна реки Амударья (территория Республики Таджикистан) в условиях глобального изменения климата и угрозы высыхания Аральского моря, частых стихийных бедствий (селей, наводнения и т. д.) является важной исследовательской задачей. Согласно многолетним наблюдениям за общий период 1940–2016 гг., авторы проанализировали изменение среднегодового и месячного стока реки Гунт, приток реки Амударья и влияние метеорологических параметров на изменение стока. Представлены основные гидрологические и метеорологические характеристики бассейна реки Гунт за период 1940-2016 гг. По данным метеостанций в Хороге, Булункуле и Явшангозе и гидрометрической станции реки Гунт - город Хорог сети Таджикгидромет. А также приведены данные по площади оледенения за период 1985 и 2015 гг. С учетом анализа предложены уравнения для гидрологического прогноза периода паводка.

**Ключевые слова:** сток реки, изменение стока реки по месяцам, ледники, площадь ледника, прогноз затопления реки, бассейн реки Гунт (приток реки Пяндж, Таджикистан).

**Annotation:** The study of the regime in the runoff formation zone of the Amu-Darya river basin (territory of the Republic of Tajikistan) in the conditions of global climate change and the threat of drying of the Aral sea, frequent natural disasters (mudflows, floods, etc.) is an important research task. According to long-term observations for the General period of 1940-2016, the authors analyzed of the runoff change of the average annual and monthly of the Gunt river, the inflow of the Amu-Darya river and the impact of meteorological parameters on the runoff change. Presents the main hydrological and meteorological characteristics of the basin of the Gunt river for the period 1940-2016 according to the weather stations in Khorog, Bulunkul and Javshangoz and a gauging station of the river Gunt – city Khorog of network Tajikhydromet. And also presents data on the area of glaciation for the period 1985 and 2015. Taking into account the analysis proposed equations for hydrological forecast of the flood period.

**Key words:** The flow of the river, change of the river flow by month, glaciers, glacier area, the forecast of flood of the river, the basin of the river Gunt (the tributary of the river Panj, Tajikistan).

**Введение.** Бассейн реки Гунт расположен в Таджикистане, Центральная Азия и относится к Памирской горной системе (71°1E –74°11'E; 37°N-38°N). Река Гунт относится к высокогорным рекам ледниково-снегового питания. Длина реки Гунт составляет 296 км, площадь бассейна 16000 км<sup>2</sup>, средняя высота бассейна 4170 м.н.у.м., площадь оледенения занимает около 4% от общей площади бассейна [1]. Бассейн простирается в диапазоне высот от 2063 до 6683 м над уровнем моря (Рис.1). В верхнем течении река носит название Аличур и берет истоки

на северном склоне Аличурского хребта, далее она впадает в озеро Яшилькуль (высота уровня озера 3734 м.н.у.м.) и вытекает далее под названием Гунт. Ниже с.Чартым река образует непрерывные водопады и быстротоки. Возле г.Хорог река Гунт принимает значительный левобережный приток Шахдара и затем впадает в реку Пяндж.

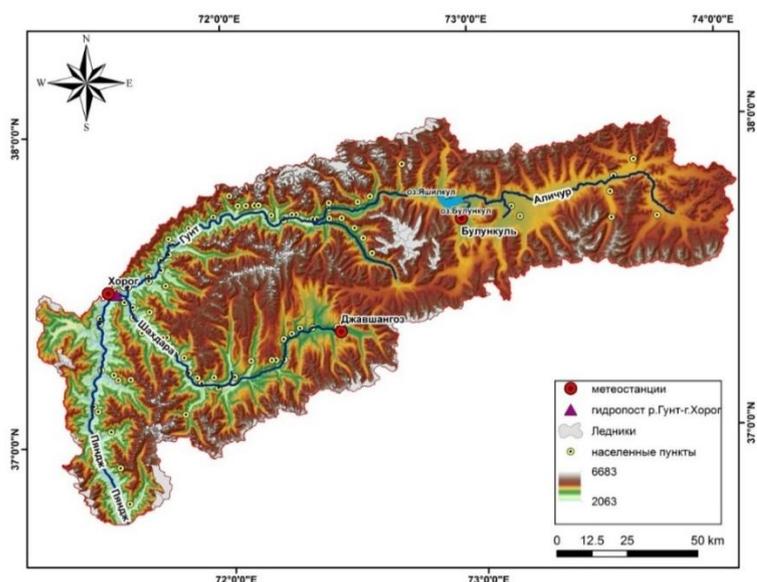


Рис.1. Бассейн р. Гунт. Размещение метеостанций и гидропостов в бассейне.

По данным гидропоста р.Гунт – Хорог (2075 м.н.у.м.) наблюдательной сети Таджгидромета за период наблюдений с 1940г. по 2016г. среднегодовой сток реки составляет  $104 \text{ м}^3/\text{с}$ , в течение года максимальный сток отмечается в июле (максимальный среднемесячный расход воды в 1958г. составил  $552 \text{ м}^3/\text{с}$ ), минимальный сток отмечается с февраля по апрель (средний месячный расход воды за март и апрель составил  $22,2 \text{ м}^3/\text{с}$ ). Половодье на реке Гунт наблюдается с конца апреля по сентябрь. Река относится к ледниково-снеговому типу питания, пики паводков и максимальные расходы воды проходят в июле.

В бассейне реки Гунт представлено 2 типа климата. Восточный Памир, занимает восточную часть бассейна, выше оз.Яшилькуль, приток р.Алиучур с холодным летом и очень низким увлажнением, со среднегодовой температурой воздуха  $-5,2^\circ\text{C}$  и годовой суммой осадков 102 мм. (по данным метеостанции Булункуль, высота 3747 м.н.у.м.). Западный Памир, расположенный ниже оз. Яшилькуль, включая также приток р.Шахдара, относится к типу климата с умеренно-теплым летом и также с очень низким увлажнением. Среднегодовая температура воздуха на высоте 3400 м.н.у.м. составляет  $-1,8^\circ\text{C}$ , годовая сумма осадков 145 мм. (по данным метеостанции Джавшангоз, 3436 м.н.у.м.), в нижнем течении реки Гунт на высоте 2000 м.н.у.м. среднегодовая температура воздуха составляет  $9,1^\circ\text{C}$ , годовая сумма осадков 285 мм. (по данным метеостанции Хорог, высота 2075 м.н.у.м.) (Рис.1).

Во всех типах климата осадки за холодный период (октябрь-апрель) превышают осадки за теплый период (май-сентябрь) в 3-4 раза на высоте 3400-3700м.н.у.м., в 11 раз – на высоте 2000 м.н.у.м.

В городе Хорог проживает 29,9 тыс. человек, в целом насчитывается около 84 кишлаков с общей численностью населения региона 35,8 тыс. человек (1 января 2018г.) и водные ресурсы реки Гунт имеют для региона важное гидроэнергетическое и водохозяйственное значение. Помимо этого бассейн реки относится к высокогорной селеопасной зоне со смешанным происхождением селей, вызванных интенсивным снеготаянием, таянием ледников, прорывом водоемов, и

т.д., катастрофический селя наблюдался в с.Дебаста 2-3 августа 1962г. Селения на реке Гунт расположены прямо на конусах выноса боковых притоков, по которым часто проходят сели или есть вероятность их прохождения при катастрофических ливнях [2, 3, 4]. Например, очень жаркое лето в 2015 году и сопутствующие атмосферные осадки вызвали массовый сход селей. 16 июля 2015 г. в результате схода селевого потока и резкого увеличения объема воды в реке Гунд, пострадало 15 домов местных жителей в селах Танг, Барсем и Бердибеков было разрушено около 5 км пути автодороги Шугнан.

Сели прошли там, где их раньше никогда не было, и эти водотоки считались не селеопасными [5].

**Использованные данные и методика обработки данных.** Для анализа изменения расходов воды на реке Гунт использованы фондовые данные Таджгидромета по гидропосту р. Гунт – г. Хорог за период с 1940 по 2016 гг. [6].

Анализ влияния на сток средней температуры воздуха был проведен по фондовым данным Таджгидромета по метеостанциям Хорог, Джавшангоз за период с 1940 по 2016 гг. и Булункуль – с 1950 по 2016 гг. Наблюдения на метеостанции Хорог проводятся с 1900 года, на метеостанции Джавшангоз – с 1934 г. но данные о метеопараметрах в фондах Таджгидромета имеют прерывистый характер, поэтому мы использовали постоянный непрерывный ряд наблюдений с 1940 г. по 2016 гг.[6].

Для определения основных метеопараметров, влияющих на сток реки Гунт, использовался статистический метод, с определением коэффициентов корреляции [7].

Площадь оледенения по расчетам, представленным в каталоге ледников Рандольфа в 2015 г. составила 826 км<sup>2</sup> или 5,5% от площади бассейна (Рис.2), в пределах значений, рассчитанных в 1985 г., когда площадь оледенения составляла 4,6% от площади бассейна [8, 9].

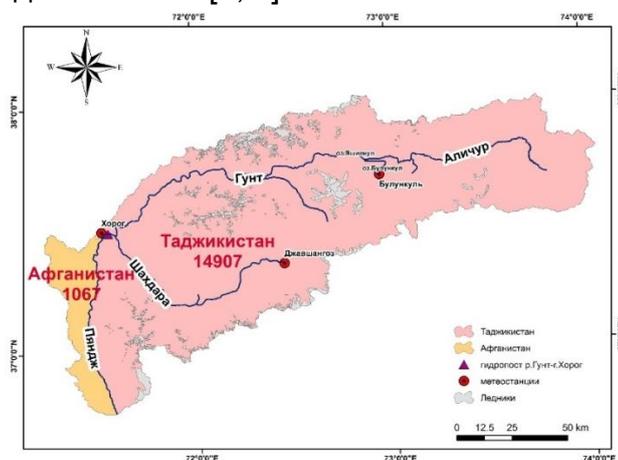


Рис. 2. Оледенение в соответствии с Каталогом ледников Рандольфа в 2015 г.

Прогноз среднего расхода воды реки Гунт на период половодья составлялся с учетом влияния метеопараметров репрезентативных метеостанций, имеющих наиболее тесную зависимость со стоком. Учитывая влияние талого снегового и талого ледникового питания, для расчета стока на период половодья были использованы уравнения простой и множественной линейной корреляции [10].

Расчет был произведен на основе данных о расходах воды за период половодья (май-сентябрь), количестве осадков, накопленных за холодный период времени (октябрь-апрель), характеризующих запасы сезонного снега и температуры воздуха за июль, апрель и январь на высотах 3400-3700 м.н.у.м. за 76 лет (1940-2016). Температура воздуха за июль характеризует интенсивность таяния

ледников, за апрель – характеризует начало половодья и интенсивность таяния сезонных снегозапасов, за январь – характеризует температурные условия накопления осадков за зимний период, т.е. «суровость зимы» [11]. Общий вид уравнений для прогноза водности реки на период половодья следующий:

$$Q_{5-9} = aX_{10-4} + c \quad (1)$$

$$Q_{5-9} = aX_{10-4} + bT_1 + c \quad (2)$$

$Q_{5-9}$  - расход воды за период май-сентябрь;

$X_{10-4}$  - сумма осадков за период октябрь-апрель (в мм);

$T_1, T_4, T_7$  - температура воздуха за месяцы январь, апрель и июль;

$a, b, c, d$  - коэффициенты регрессии, рассчитанные по наблюдаемым значениям.

**Изменение стока реки Гунт.** Река Гунт относится к ледниково-снеговому типу питания, соотношение стока за месяцы ледникового таяния (июль-сентябрь) превышает сток за месяцы таяния сезонного снега (март-июнь) составляет 1,97 с прохождением пика паводков (максимального расхода воды) в июле [12]. Половодье на реке Гунт, вызванное таянием сезонного снега и ледников, отмечается в период с конца апреля по сентябрь.

Среднегодовой расход воды на реке Гунт (г.Хорог) составляет 104 м<sup>3</sup>/с, при этом средний расход воды в период половодья (май-сентябрь) составляет 196 м<sup>3</sup>/с, а период межени (октябрь-апрель) – 38,2 м<sup>3</sup>/с, что в 5 раз меньше стока в период половодья. Наблюдается тренд с небольшим понижением на 6,1 м<sup>3</sup>/с, среднегодовых расходов воды за период с 1940г. по 2016г. (Рис.3). При этом за тот же период водность реки Гунт в половодье понижается на 21,3 м<sup>3</sup>/с, а в межень – на 6,8 м<sup>3</sup>/с повышается (Рис.4).

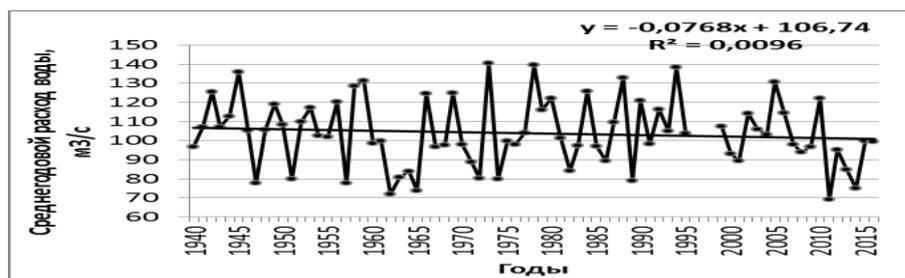


Рис.3. Изменение среднегодовых расходов воды на реке Гунт за период 1940-2016 гг.

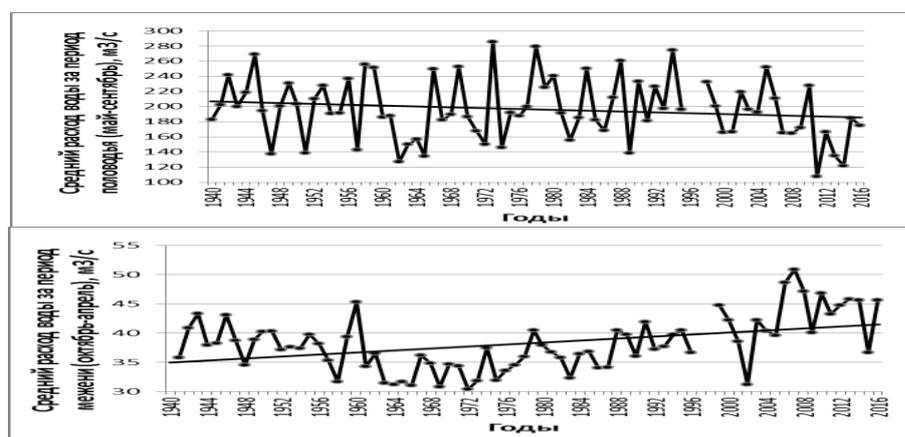


Рис. 4. Изменение средних расходов воды за половодье и межень на реке Гунт за период 1940-2016 гг.

Внутригодовое распределение стока показывает, что наибольший сток приходится на июль и составляет 26,6%, в июне и августе – 19,3 и 19,7%, в сентябре – 9,7%, в мае и октябре – около 5% от годового стока. В остальные месяцы средние расходы воды составляют 2,5-3,5% от годового стока (Рис.5).

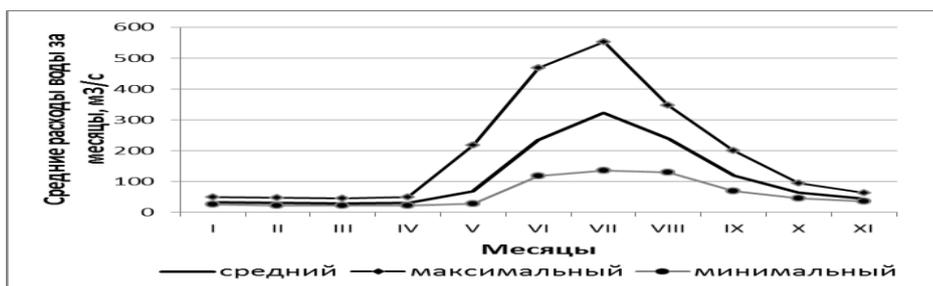


Рис. 5. Внутригодовое распределение стока реки Гунт – г.Хорог.

С учетом ледниково-снегового типа питания и значительного преимущества в питании реки талого ледникового стока был проанализирован сток за месяцы сезонного снеготаяния и ледникового снеготаяния на реке Гунт. В результате было выяснено, что объем стока талых вод сезонного снежного покрова увеличился на 7 м³/с, а объем стока за счет ледникового таяния уменьшился на 40 м³/с (Рис.6).

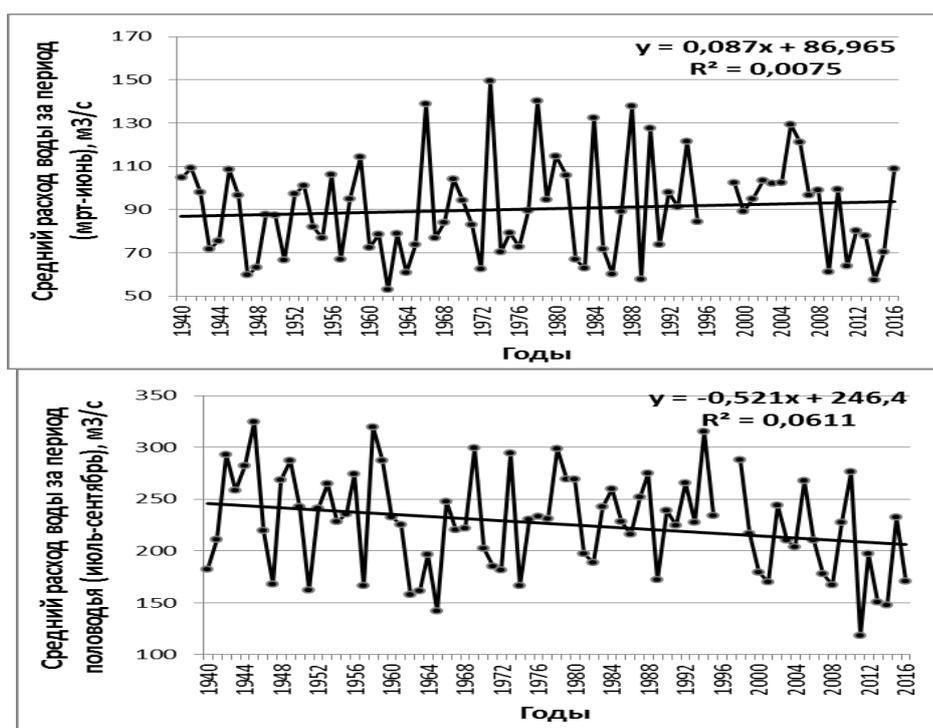


Рис. 6. Изменение стока реки Гунт за счет двух источников питания сезонного снежного покрова (слева) и талого ледникового (справа).

**Влияние метеопараметров на сток реки Гунт.** Влияние метеопараметров на изменение стока реки Гунт было определено в соответствии с коэффициентом корреляции (R), определяющим тесноту зависимости стока реки за период половодья и межени и осадков за холодный (октябрь-апрель) и теплый (май-сентябрь) периоды, а также среднемесячных температур воздуха по данным трех метеостанций. Результаты расчетов представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции стока реки Гунт за период половодья и межени с суммой осадков за холодный и теплый периоды.

Название метеостанций	Сумма осадков за периоды			
	октябрь-апрель	май-сентябрь	октябрь-апрель	май-сентябрь
	R со стоком за половодье		R со стоком за межень	
Булункуль	<b>0,59</b>	-0,05	-0,27	-0,08
Джавшангоз	<b>0,61</b>	-0,05	-0,29	-0,02
Хорог	<b>0,65</b>	0,06	-0,22	-0,12
Булункуль+Джавшангоз+ Хорог	<b>0,71</b>	-	-	-
Джавшангоз+ Хорог	<b>0,69</b>	-	-	-

Таблица 2. Коэффициенты корреляции стока реки Гунт за период половодья и межени со среднемесячной температурой воздуха.

	Температура воздуха											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	R со стоком за половодье											
Булункуль	- <b>0,24</b>	- 0,08	- 0,18	- <b>0,27</b>	- 0,06	0,11	<b>0,20</b>	0,14	0,13	- 0,12	0,01	0,07
Джавшангоз	- 0,12	- 0,03	- 0,13	- <b>0,23</b>	- <b>0,21</b>	0,07	<b>0,37</b>	0,09	0,09	- 0,04	0,09	0,12
Хорог	- 0,06	- 0,12	- 0,13	0,06	0,09	0,14	<b>0,29</b>	0,01	0,04	- 0,08	- 0,06	0,03
	R со стоком за межень											
Булункуль	0,05	0,12	<b>0,21</b>	0,14	0,13	- 0,10	- 0,14	- <b>0,23</b>	- 0,11	- 0,10	<b>0,20</b>	0,08
Джавшангоз	0,02	<b>0,22</b>	0,16	0,14	<b>0,22</b>	0,10	0,05	- 0,01	0,13	0,09	<b>0,24</b>	0,00
Хорог	0,02	0,06	0,15	0,05	- 0,03	- 0,08	- 0,09	- 0,15	0,03	0,13	0,10	0,08

Анализ результатов тесноты зависимости между расходами воды за период половодья и суммой осадков за холодный и теплый периоды и температурой воздуха позволяет сделать следующие выводы:

- наиболее высокий коэффициент корреляции 0,59-0,65 оказался с суммой осадков за холодный период (октябрь-апрель) по данным всех метеостанций, имеющих в бассейне реки Гунт;

- осредненная сумма осадков по данным двух (Джавшангоз и Хорог) и трех метеостанций (Джавшангоз, Хорог и Булункуль) показывает самый высокий коэффициент корреляции 0,69-0,71;

- один из самых высоких коэффициентов корреляции с температурой воздуха за апрель и май (по данным метеостанций на высоте 3400-3700) и январь (по данным метеостанции Булункуль, 3700 м.н.у.м.), -0,23, -0,27 и -0,24, соответственно.

- самые высокие коэффициенты корреляции, 0,29-0,37, с температурой воздуха за июль по данным метеостанций на высоте 3400-3700 м.н.у.м.

Анализ результатов тесноты зависимости между расходами воды за период межени показал наибольший коэффициент корреляции 0,20-0,29 с суммой осадков за холодный период по данным всех метеостанций и температурой воздуха за месяцы февраль, март, март, май, август и ноябрь с данными метеостанций на высоте 3400-3700 м.н.у.м.

**Прогноз водности реки Гунт на период половодья.** Анализ влияния метеопараметров на сток выявил несколько параметров, на основе которых можно составить прогноз расхода воды на период половодья.

В качестве аргумента для прогноза водности на период половодья используются только данные о средней сумме осадков, накопленных за холодный период времени – октябрь-апрель, коэффициент корреляции  $R^2$  0,47 (Рис.7). Следующие два варианта прогноза – использование множественной линейной регрессии с двумя аргументами.

Первый аргумент - данные о средней сумме осадков, накопленных за холодный период времени, второй – температура воздуха за январь по высокогорной метеостанции Булункуль (3700 м.н.у.м.) и температуре воздуха за апрель по метеостанции Джавшангоз (3400 м.н.у.м.)  $R^2$  0,52 и 0,50 (Рис.7).

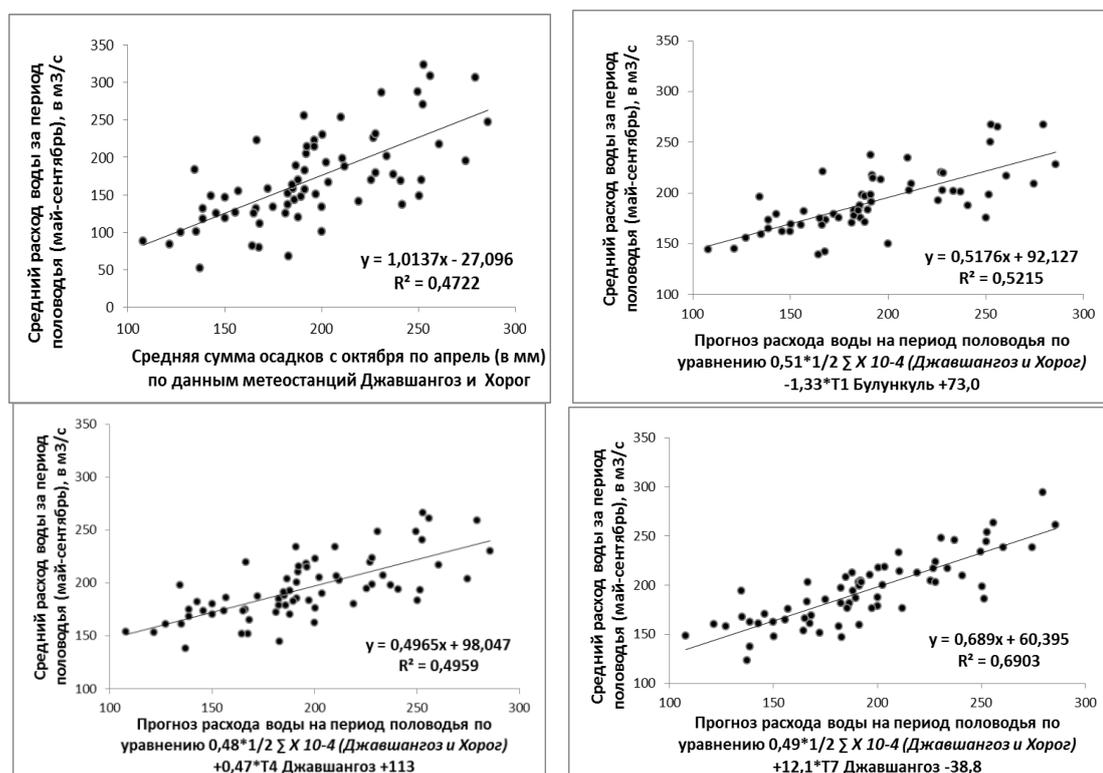


Рис. 7. Зависимости водности реки Гунт на период половодья от метеозлементов: средней суммы осадков за период октябрь-апрель, температуры воздуха за январь, апрель и июль.

Самый достоверный прогноз водности учитывает два аргумента характеризующих как снеготалую составляющую (осадки, накопленные за холодный период времени), так и талую составляющую ледников (температура воздуха в июле определяющая интенсивность таяния ледников)  $R^2$  0.69 (Рис. 7).

Однако в последнем случае температура воздуха за июль должна быть спрогнозирована к моменту составления прогноза (до начала половодья) в апреле. В другом случае это уравнение не может быть использовано.

### **Заключение.**

1. Среднегодовой расход воды по реке Гунт за период с 1940 по 2016гг. незначительно понизился – на  $6,1 \text{ м}^3/\text{с}$  (или 6% от годового стока, составляющего  $104 \text{ м}^3/\text{с}$ ). При этом за тот же период водность реки Гунт в половодье понижается на  $21,3 \text{ м}^3/\text{с}$ , а в межень – на  $6,8 \text{ м}^3/\text{с}$  повышается. При этом водность реки за счет талых вод ледников уменьшается, а за счет талых вод сезонного снега – увеличивается.

2. В бассейне реки расположены репрезентативные метеостанции, их данные о сумме осадков за холодный период имеют наибольшую корреляцию со стоком и могут быть использованы в прогнозе стока на период половодья ( $R^2 0,47$ ). Также увеличивается достоверность прогноза с учетом температуры воздуха за январь и апрель ( $R^2 0,52$  и  $0,50$ ).

3. Наиболее достоверный прогноз водности на период половодья получается с использованием температуры воздуха за июль ( $R^2 0,69$ ). Однако к моменту составления прогноза водности на период половодья (в апреле) необходим прогноз температурных аномалий для расчета прогноза стока.

### **Литература**

1. Атлас Таджикской ССР. АНТССР, Душанбе-Москва: ГУГиК, 1968 г.
  2. Лим В.В. и др. Инженерно-геологическая карта условий развития экзогенных геологических процессов в Таджикской ССР масштаба 1:500,000. Фонды Главного управления геологии при Правительстве Республики Таджикистан. 1984.
  3. Перов В.Ф. Исследование селей. Московский государственный университет, 2012. 271 с.
  4. Тукеев О.В., Усков Ю.С. Природные ресурсы Таджикской ССР. Сели. ГУГК СССР, 1984. С.7.
  5. Опасные природные явления в Таджикистане Душанбе, Таджикистан – 2018. Материалы Организация по безопасности и сотрудничеству в Европе (ОБСЕ) Офис программ в Душанбе. 2018. <https://www.osce.org/ru/programme-office-in-dushanbe>
  6. Данные фондов Таджгидромета.
  7. Подрезов О.А. Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений. Часть 1. Бишкек: изд.: КPCY, 2003. 262 с.
  8. Коновалов В.Г. Таяние и сток с ледников в бассейнах Средней Азии. САННИГМИ. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. С. 218.
  9. RGI Consortium (2015). Randolph Glacier Inventory – A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 5.0: Technical Report, Global Land Ice Measurements from Space, Colorado, USA. Digital Media. DOI: <https://doi.org/10.7265/N5-RGI-50>
  10. Руководство по гидрометеорологическим прогнозам, выпуск 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 357 с.
  11. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л., Гидрометеоиздат, 1974.
- Шульц В.Л. Реки Средней Азии. САННИГМИ. Л: изд.: ГИМИЗ, 1965. С.169-173.



## АНАЛИЗ ЗНАЧЕНИЙ АЛЬБЕДО ЛЕДНИКОВ КИРГИЗИИ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ SENTINEL-2 MSI

*Михайлюкова П.Г., Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Азисов Э.А., Усубалиев Р.А., Коваленко Н.В.*

### Analysis of the Kyrgyzstan glaciers albedo values based on Sentinel-2 MSI satellite imagery

**Аннотация:** проанализированы методы расчета значений альbedo на основе изображений MSI Сентинел-2. Оценка точности по результатам полевых измерений значений альbedo. Данные космической съемки аппаратурой Sentinel-2 MSI являются источником количественной информации для достаточно точных расчетов значений альbedo, используемых как основа для дальнейшего географического анализа развития тех или иных природных и техногенных процессов на исследуемой территории. Для высокогорных участков необходимо выполнять дополнительную коррекцию значений яркости, связанных с влиянием углов наклона местности и положения Солнца в момент съемки. В горном массиве Ак-Шийрак, отдельной задачей является моделирование значений альbedo в затененных областях, для дальнейшей работы по расчетам альbedo по космическим снимкам.

**Ключевые слова:** альbedo, ледники, Тянь-Шань, Sentinel-2 MSI, космические снимки, дистанционные методы, карьеры, запыление, техногенное влияние.

**Abstract:** methods of the albedo values calculation based on Sentinel-2 MSI images was analyzed. The accuracy estimation on the basis of field measurements results of albedo values is carried out. Sentinel-2 MSI satellite imagery data is a source of quantitative information for fairly accurate albedo calculations, which are used as the basis for further geographical analysis of the development of various natural and technogenic processes in the study area. For high mountain areas, it is necessary to perform additional correction of brightness values associated with the influence of terrain tilt angles and the position of the Sun at the time of shooting. In the Ak-Shiyrak mountain range, a separate task is to model the albedo values in shaded areas for further work on the calculation of albedo from satellite images.

**Key words:** albedo, glaciers, Tian Shan, Sentinel-2 MSI, satellite images, remote sensing methods, quarries, dusting, anthropogenic impact.

**Введение.** Альbedo снежного покрова и ледников обуславливает интенсивность таяния снега и льда и, соответственно, стока рек в летнее время. Оценка значений альbedo можно проводить как наземными (полевые измерения альбедометром), так и дистанционными методами (на основе результатов космической съемки). В настоящее время все большее количество работ по анализу изменений значений альbedo разного типа поверхностей выполняется на основе космических снимков разного пространственного разрешения и охвата [1-5]. Преимуществом такого подхода является практически одновременное формирование изображений в разных спектральных диапазонах для территории большой площади. Сложностями является необходимость выполнения топографической коррекции и учета положения Солнца в момент съемки. В представленной работе выполнена оценка качества космических снимков Sentinel-2 MSI с точки зрения расчета значений альbedo, а также представлен анализ влияния техногенного запыления поверхности ледников массива Ак-Шийрак на основе значений альbedo.

**Методика исследования.** Оценка применимости космических снимков Sentinel-2 MSI для расчетов альbedo выполнялась с использованием полевых

измерений альbedo ледников Киргизии (Абрамова, Голубина, Сары-Тор, Лысый) в 2015-2018 гг. При выборе космических снимков главными ограничивающими факторами явились наличие облачности и теневых зон, возникающих вследствие условий освещенности и геометрии съемки. Для всех снимков, использованных в работе, была выполнена атмосферная коррекция при помощи программного модуля `sen2cor` (<http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>). Анализ литературных источников показал, что расчет значений альbedo по космическим снимкам высокого разрешения выполняется главным образом на основе двух формул (адаптированы под спектральные каналы аппаратуры Sentinel-2 MSI):

$$\text{Альbedo}_{\text{кnap}}=0,726*b_3-0,322*b_3^2-0,015*b_8+0,581*b_8^2 \quad (1) \quad [6]$$

$\text{Альbedo}_{\text{liang}}=0,356*b_2+0,130*b_4+0,373*b_8+0,085*b_{11}+0,072*b_{12}-0,0018 \quad (2) \quad [7]$   
 где  $b_2 - b_{12}$  – спектральные каналы Sentinel-2 MSI:  $b_2 - 0,490$  мкм,  $b_3 - 0,560$  мкм,  $b_4 - 0,665$  мкм,  $b_8 - 0,842$  мкм,  $b_{11} - 1,610$  мкм,  $b_{12} - 2,190$  мкм.

Анализ точности рассчитываемых по этим формулам значений альbedo выполнялся на основе регрессионного анализа в два этапа. В точках наземных измерений для ледников Абрамова, Голубина, Сары-Тор, Лысый были получены значения альbedo, рассчитанные по формулам (1) и (2). На первом этапе рассчитывались разности между наземными измерениями и значениями альbedo, вычисленными по космическим снимкам. Для регрессионного анализа использовались те точки, для которых разность значений между наземными и спутниковыми измерениями по модулю не превышала 0,1. Такое пороговое значение связано с тем, что большие разности характеризуют в большей степени ошибки, связанные с неоднородностью местности в пределах пикселя изображения (чередование снега, льда, морены и тп.), а также с краевыми эффектами на границах ледников. После того, как были оценены разности в значениях альbedo, рассчитывалось уравнение регрессии для выборки, где разность не превысила пороговую величину. На основе полученного уравнения регрессии выполнялся пересчет всех значений альbedo, извлеченных по космическим снимкам, и затем выполнялся анализ скорректированных значений относительно наземных измерений.

**Результаты исследования.** Оценка точности значений альbedo, полученных по космическим снимкам Sentinel-2 MSI для ледников Киргизии, показала, что расчеты по формуле (2) наиболее близки к наземным измерениям. Это, вероятно, связано с большим количеством используемых спектральных каналов по сравнению с формулой (1), а также с засветкой, характерной для горных областей. Для ледников Абрамова, Сары-Тор и Лысый разность между наземными измерениями альbedo и значениями, рассчитанными по формуле (1), превысила 0,1 для всех точек, поэтому они были исключены из дальнейшего регрессионного анализа. Для ледника Голубина таких исключенных точек оказалось 11 (из 98). Разность между наземными измерениями альbedo и значениями, рассчитанными по формуле (2), превысила пороговое значение всего лишь для 9 точек ледника Голубина, а для всех точек ледника Абрамова не превысила 0,1. Для ледников Сары-Тор и Лысый таких точек оказалось существенно больше – 48 из 121 и 44 из 67 соответственно. Это, вероятно, объясняется низкими углами Солнца в момент выполнения космической съемки, особенностями рельефа ледника Лысый, для которого характерно наличие бугров на поверхности, размеры которых сопоставимы с размером пикселя изображения Sentinel-2 MSI. Для каждого из ледников было получено свое уравнение регрессии. Анализ полученных зависимостей показал хорошую согласованность наземных и спутниковых

измерений, значение  $R^2$  для всей выборки измерений составило 0,95 (уровень надежности 95%), стандартная ошибка – 0,07. В результате проведенного анализа можно заключить, что снимки Sentinel-2 MSI, прошедшие атмосферную коррекцию, пригодны для расчетов значения альbedo. Поэтому на основе набора снимков Sentinel-2 MSI за период 2016-2018 года по значениям рассчитанного альbedo был проведен анализ степени запыленности поверхности ледников массива Ак-Шийрак. На его северо-западной границе расположен рудник Кумтор, горные работы которого приводят к эмиссии пыли и могут потенциально влиять на степень запыленности ледников Ак-Шийрака [8-9].

Для расчета альbedo в пределах массива Ак-Шийрак использовалось 35 разновременных космических снимков Sentinel-2 MSI с 2016 года по осень 2018 года. Анализ средних значений альbedo ледников для всего массива за каждую дату космической съемки показал, что изменение значения альbedo в течение года определяется сезонным ходом – летом значения альbedo минимальны, зимой при наличии свежеснежного покрова максимальны. Для того, чтобы оценить наличие или отсутствие негативного влияния горных работ рудника Кумтор, были построены профили удаленности для каждой даты космической съемки, которые должны характеризовать степень влияния горных работ, проводимых в центральном карьере, на оледенение всего массива (рис. 1).

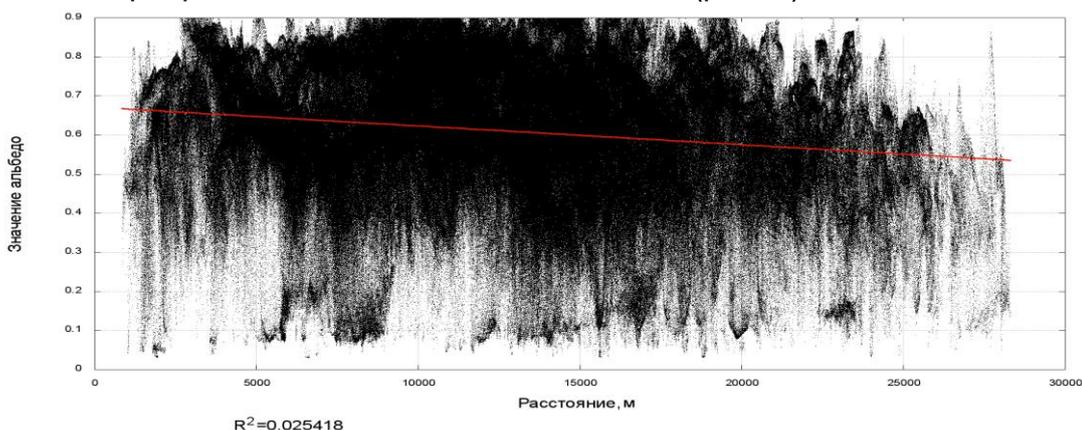


Рис. 1. Пример графика удаленности, построенный по результатам космической съемки Sentinel-2 MSI за 12.06.2017.

При наличии такого влияния альbedo должно убывать по мере приближения к карьере. Для построения профилей удаленности извлекались все значения яркости пикселей в пределах массива Ак-Шийрак. На первом этапе обработки были исключены значения пикселей, для которых значения альbedo превысило 0,9, т.к. такие значения свидетельствуют о вероятной засветке в пределах пикселя. Для оставшихся точек были рассчитаны расстояния до центра карьера по формуле:

$$d = \sqrt{(x_k - x_p)^2 + (y_k - y_p)^2}, \quad (3)$$

где  $x_k, y_k$  – координаты центра карьера,  $x_p, y_p$  – координаты пикселя. Для каждого графика по оси X откладывалось расстояние, по оси Y – значение альbedo. Анализ получившихся графиков удаленности показал, что негативное влияние эмиссии пыли рудником Кумтор на альbedo ледников массива Ак-Шийрак не прослеживается. Вероятно, основная масса пыли оседает непосредственно в центральном карьере.

Прямое техногенное воздействие горных работ прослеживается локально, в виде механического перемещения льда двух ледников в зоне центрального ка-

рьера рудника Кумтор, в то время как не прямое техногенное воздействие – запыление поверхности, на фоне природного, по снимкам со спутников Sentinel-2 MSI на ледниках массива Ак-Шийрак не прослеживается. Ранее такой же вывод был сделан нами при анализе альbedo по космическим снимкам Landsat с 1990-х гг. по настоящее время [10].

### Выводы

1. Полученные результаты позволяют заключить, что данные космической съемки аппаратурой Sentinel-2 MSI являются источником количественной информации для достаточно точных расчетов значений альbedo, используемых как основа для дальнейшего географического анализа развития тех или иных природных и техногенных процессов на исследуемой территории. Однако следует отметить, что для высокогорных участков необходимо выполнять дополнительную коррекцию значений яркости, связанных с влиянием углов наклона местности и положения Солнца в момент съемки.

2. Кроме того, для таких горных массивов, как Ак-Шийрак, отдельной задачей является моделирование значений альbedo в затененных областях. Это направление – одно из главных для дальнейшей работы по расчетам альbedo по космическим снимкам.

**\*Методическая часть** работы выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60221. Авторы благодарны Кумтор Голд Компани за логистическую поддержку при полевых работах.

### Список литературы

1. Klok E.J., Greuell W., Oerlemans J. Temporal and spatial variation of the surface albedo of Morteratschgletscher, Switzerland, as derived from 12 Landsat images // *Journal of Glaciology*. 2003. №46, pp. 675-688.
2. Liu J., Schaaf C., Strahler A., Jiao Z., Shuai Y., Zhang Q., Roman M., Augustine J. A., Dutton E. G. Validation of moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) albedo retrieval algorithm: dependence of albedo on solar zenith angle // *Journal of Geophysical Research*. 2009. 114.
3. Naegeli K., Damm A., Huss M., Wulf H., Schaepman M., Hoelzle M. Cross-Comparison of Albedo Products for Glacier Surfaces Derived from Airborne and Satellite (Sentinel-2 and Landsat 8) Optical Data // *Remote Sensing*. 2017. No.9, p.110-132.
4. Svacina N.A., Duguay C.R., King L.M.J. Modelled and satellite-derived surface albedo of lake ice – part II: evaluation of MODIS albedo products // *Hydrological Processes*. 2014. №28, pp.4562–4572.
5. Wang J., Ye B., Cui Y., He X., Yang G. Spatial and temporal variations of albedo on nine glaciers in western China from 2000 to 2011 // *Hydrological Processes*. 2013. №28, pp. 3454–3465.
6. Кнап. W.H.; Reijmer. C.H.; Oerlemans. J. Narrowband to broadband conversion of Landsat TM glacier albedos // *International Journal of Remote Sensing*. 1999. №20. pp. 2091–2110.
7. Liang. S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: I Algorithms // *Remote Sensing of Environment*. 2000. №76. pp. 213–238
8. Kronenberg J. Linking Ecological Economics and Political Ecology to Study Mining, Glaciers and Global Warming // *Environmental Policy and Governance*. 2013, Vol.23, p. 75–90.
9. Торгоев И.А. Ледники, золото и геоэкология Кумтора // *Glaciers, gold and geoecology of Kumtor*. 2016. С. 197.
10. Петраков Д.А., Тутубалина О.В, Шпунтова А.М., Коваленко Н.В., Усубалиев Р.А., Азисов Э.А., Михайлюкова П.Г. Оценка альbedo ледников массива Ак-Шийрак (Тянь-Шань) по наземным данным и снимкам со спутников Landsat // *Криосфера Земли*. 2019, т. XXIII, №3, С.13-24.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИМИ СНИМКАМИ ЛЕДНИКОВ СЕВЕРНОГО  
СКЛОНА ТЕРСКОЙ АЛА-ТОО: КАРТИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ  
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЗА ПЕРИОД 1975-2018.**

*Осмонов А. Т., Азисов Э., Нарам Ч.*

**STUDY OF THE GLACIERS IN THE NORTHERN SLOPES OF THE TERSKEY-  
ALA-TOO USING OPTIKAL IMAGES: MAPPING AND ANALYSIS OF GEOMOR-  
PHOLOGICAL SCHNHANGES DURING PERIOD OF 1975 - 2018.**

*Osmonov A.T., Azisov E., Narama Ch.*

**Аннотация:** Современное состояние ледников на северных склонах Терской Ала-Тоо: размеры ледников, распределение по их верхней и нижней границам, а также изменения площади ледников за период 1975 - 2018 гг. Распределение ледников по результатам их картирования показало, что они хорошо согласуются со строением рельефа и местного климата. Ледники подвержены к постоянному изменению в условиях глобального потепления климата. Оледенение уменьшается по площади и распадается на отдельные ледники, в зависимости от особенностей геоморфологического строения. Длительное мониторинговое исследование ледников позволит оценить изменение водного баланса в пределах исследуемых районов.

**Ключевые слова:** геоморфология ледников, динамика ледников, оптические изображения, потепление климата, деградация, водные ресурсы.

**Abstract:** The current state of glaciers on the northern slopes of the Terskey Ala-Too: the size of the glaciers, the distribution along their upper and lower borders, as well as changes in the area of glaciers for the period 1975 - 2018. The distribution of glaciers according to the results of their mapping showed that they are in good agreement with the structure of the relief and local climate. Glaciers are subject to constant change in conditions of global warming. Glaciation decreases in area and breaks up into individual glaciers, depending on the peculiarities of the geomorphological structure. A long monitoring study of glaciers will allow us to assess the change in water balance within the studied areas.

**Key words:** Geomorphology of glaciers, dynamics of glaciers, optical images, climate warming, degradation, water resources.

**Введение.** В связи современным изменением климата меняется водность и режим рек по всей территории бассейна озеро Иссык-Куль, который расположен восточной части Кыргызстана. В некоторых бассейнах сток увеличивается из-за интенсивного таяния крупных ледников, где доля ледникового стока большое на формирование стока, а в тех речных бассейнах где формирование стока связаны с сезонным снегом или снежно ледниковым питанием наблюдается уменьшение стока (Romanovsky et al. 2006). Высокогорные пояса (выше 3300 м), на примере бассейне р. Чон-Кызыл-Суу северного склона хребта Терской Ала-Тоо дает 80-87% общего стока рек. По отношению ко всей площади бассейна этот пояс занимает 49,6%, причем на долю ледников в нем приходится 29,4% (Диких А. Н. и др. 1999). Однако, в результате интенсивного сокращение объема и площади ледников требует детальное изучение для оценки их динамику в современности. После опубликование Каталог Ледников СССР (Каталог Ледников

1976), многие работы ограничиваются с картированием их площади, или их динамику в отрезок времени сделанный снимками крупного масштаба, исходя из этого мы поставили задачу - определить площадь ледников в крупном масштабе и анализировать динамику в длительный период (1975 – 2018 г. г.), анализировать их геоморфологическое изменение ледников на северный склон хр. Терской Ала-Тоо.

**Материалы и методика решения проблемы.** Ледников на северном склоне Терской Ала-Тоо мы картировали более 0,1 км<sup>2</sup> используя оптические мультиспектральные снимки Planet Scope (<https://api.planet.com>), которое разрешение составляет 3.0 m/pixel, и взяли конец абляции (месяц август), когда поверхность ледника не имеет сезонные снег. Ледники анализировали по геоморфологическому и типу, а также дали идентификационные номера на основе Каталога ледников, а в тех случаях, когда ледники не были включены в Каталоге Ледников СССР или отделены от основного ледника став самостоятельным ледником дали новый номер следуя (Paul et al. 2009). Дальше, на примере западной части Терской Ала-Тоо мы анализировали динамику ледников с 1975 по 2018 года. Материалом за 1975 года брали снимку Hexagon KH-4 и сделали орто-корректировки снимки для дальнейшего картирование ледников, который на основе полученных результатов рассмотрели изменение ледников за выше указанный период.

**Результаты исследования.** В районе исследования количество составил 568 ледников, и по сравнению ранее опубликованного Каталога ледников значительно больше (480 ледников). Эти различия связаны с естественными и техническими факторами, которыми в процессе изучения обнаружили; что 81 ледников были пропущены или не включены в Каталог Ледников; 14 ледников боковых притоков сложно-долинных и долинных отделены от основного ствола и стали самостоятельными; а так же семь самостоятельные ледники не были обнаружены, которые сезонный снег мог бы указан как отдельными.

Распределение ледников мы анализировали концевой (язык) для анализа диапазон развитие ледников во всех 19 речных бассейнах район изучения. Средняя распределения язык ледников в речных бассейнах составляет 3535,1 м н. у. м. Однако, расположение концев ледников имеет различия в зависимости местных условия развитие оледенение; которая минимальная высота идет к опусканию с запада в сторону востока. Самая минимальная высота язык ледников находится в бассейне реки Жети-Огуз, составив 3215 м н. у. м.

Верхнюю границу развитие ледников, который на западной части в хребте Терской Ала-Тоо расположен на высоте 4000 м н. у. м. Высота границы растет в сторону востока и максимальный показатель достигает в бассейне реки Каракол, составив 5258 м н. у. м, где находятся максимальная часть хребта Терской Ала-Тоо. Верхняя граница ледников от бассейна реки Каракол идет к понижению следуя высоты местности. В результате чего мы видим, что диапазон распределение между концев ледников и верхняя граница в среднем составляет 1104.7 м н. у. м, который имеет условия развитие оледенение. От западной границы хребта Терской Ала-Тоо до речного бассейна Кичи-Кызыл-Суу диапазон высоты развитие оледенение особо не изменяется. Однако, на восточной части хребте между речным бассейном Кызыл-Суу и Ак-Суу диапазон между концев ледников и верхняя граница ледников имеет высокими и достигает до 1995 м (рис. 1.), что позволяет широкому развитию оледенению.

Распределение ледников по размеру не одинаковы, который ледники малого размера (0,1 – 0,49 км<sup>2</sup>) по количеству много числены составив 66,0 % от

общей суммы, а ледники в размере 5,00 – 10,0 км<sup>2</sup> были малочисленными составив только один. Общая площадь покрытие ледников составил 386.9 км<sup>2</sup>, и их распределение по размеру является неодинаковыми.

Несмотря на многочисленнее количество ледники в размере 0.1 – 0.49 км<sup>2</sup> составляет 78,14 км<sup>2</sup> или 20,0%, а распределение ледники в размере 1,00 – 4,99 км<sup>2</sup> покрывает значительную часть ледников, составив 240,21 км<sup>2</sup> или 62,1% от общей площади ледников, который можно наблюдать детально в таблице 1.

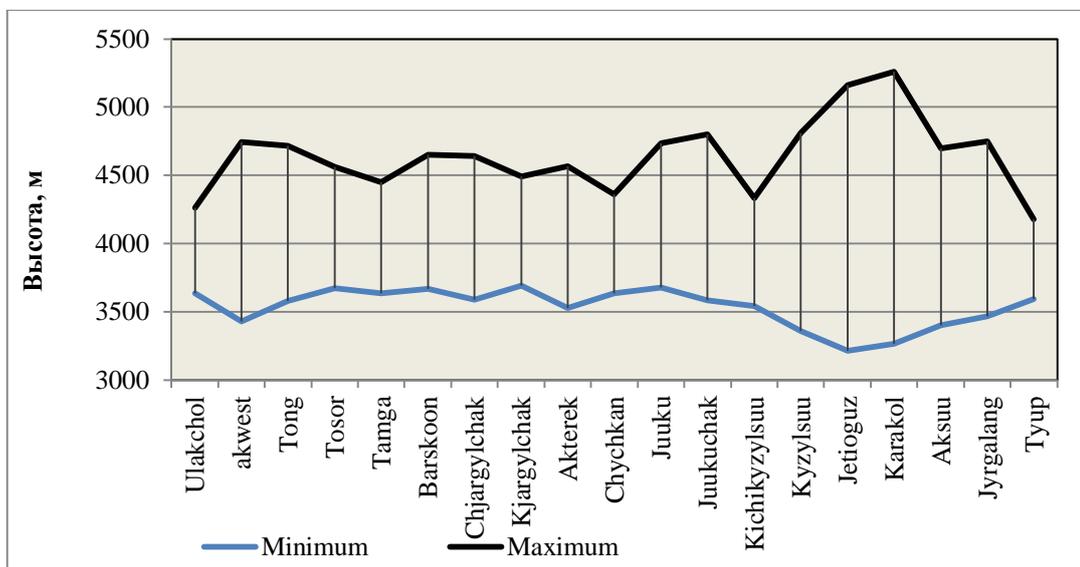


Рис. 1. Распределение диапазон ледников по высоте на Терской Ала-Тоо.

Таблица 1. Количество распределения ледников и их площади по размеру за 2018 год.

Размер ледников	Распределение ледников		Площадь ледников	
	Количество	%	км <sup>2</sup>	%
0.1 – 0.49 км <sup>2</sup>	375	66.0	78.14	20.2
0.50 – 0.99 км <sup>2</sup>	80	14.1	58.23	15.1
1.00 – 4.99 км <sup>2</sup>	112	19.7	240.21	62.1
5.00 – 10.0 км <sup>2</sup>	1	0.2	10.31	2.7
Сумма		100.0		100.0

Изменение площади ледников получили на западной части район исследование, который общая потеря составил – 9,0% за период 1975 – 2018 г. г. (Рис. 1 А). При анализе изменение интенсивностью сокращение площади ледников по геоморфологическому типу можно делить на три группы. В первую группу можно включить таких ледников как шлейфовые, висячие, карово-висячие и карово-долинные, который их интенсивность деградация были высокими составив 24,7 – 15,5%.

Основном эти ледники является по размеру маленькими (обычно меньше 1,0 км<sup>2</sup>) и расположенные в крутых склонах с ограниченными зонами аккумуляции, и в случае изменение климата таяния идет быстрым темпе. Во вторую группу можно включить такие типы ледников как каровые и сложно-долинные ледники, которые их сокращение были 13,3% и 10,0%. Несмотря на расположение ледников на кресле горы с окруженными со склонами, а так же не значительно короткий язык потеря площади ледников идет в интенсивном темпе.

Сложно-долинные ледники из-за своей сложностью строения формы в зоне аккумуляции соединяющийся несколькими притоками ледников, и протянувшийся по долине тело ледников имеет интенсивное таяние ледников.

В некоторые притоки сложно-долинных ледников сократились и отделились от основного ледника, становились самостоятельными каровые или долинные ледниками. В третью группу можно включить ледников котловинный, долинный и плоских вершин, которая их площадь сократились от – 4,0% до - 5,8% (см. Рис/ 2 Б).

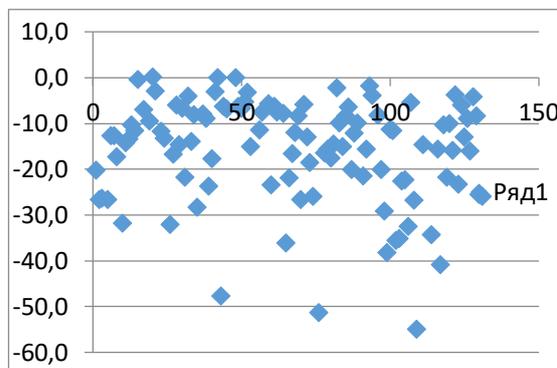


Рис. 2 А. Интенсивность сокращения площади ледников индивидуально

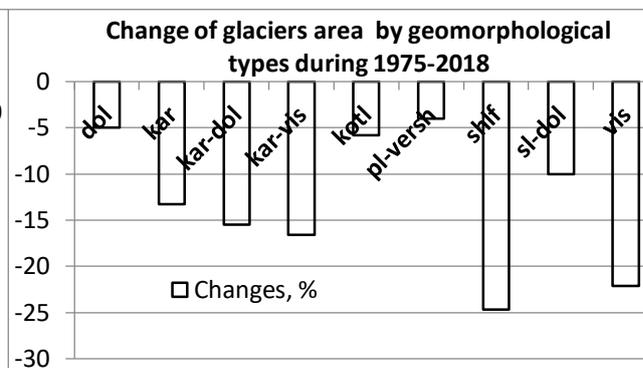


Рис. 2 Б. Интенсивность сокращения площади ледников по геоморфологическому типу

### Выводы.

1. Картирование ледников показало, что распределение ледников хорошо согласуется строением рельефа и местного климата.
2. Ледники как часть природы подвержены к постоянному изменению в условиях закономерностей природы. В результате ледники сокращались по площади, а некоторые стали отдельными ледниками, что немаловажную роль играет площадь ледников и его геоморфологическое строение.
3. Продолжительное исследование ледников позволит оценить изменение водного баланса изучаемого района.

### Список литературы

1. Диких А.Н., Диких Л.Л., Усубалиев Р.А. Водно-ледовые ресурсы Иссык-Кульской котловины и прогноз их изменения к 2000-2050гг. //Известия НАН КР, (Проблемы геологии и географии). - Изд-во «Илим». - Бишкек, 1999. - с. 80-84.
2. Каталог ледников, том 14, Средняя Азия, выпуск 2, Киргизия Часть 5, Реки бассейна оз. Иссык-Куль. Гидрометеиздат. Ленинград 1976.
3. V. V. Romanovsky, S. Tashbaeva, J. Cretaux, V. Drolon The closed Lake Issyk-Kul as an indicator of global warming in Tien-Shan // Natural Sciences Vol. 5., No 5 2013, 608 – 623 p. p.
4. F. Paul, R. G. Barry, J. G. Cogley, H. Frey, W. Haebeli, A. Ohmura, C. S. L. Ommanney, B Raup, A. Rivera, M. Zemp – Recommendations for the complication of glacier inventory data from digital sources // Annals of Glaciology 50 (53) 2009, 119 – 126 p. p.

• • •

**ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА ЮГО-ЗАПАДНОГО КЫРГЫЗСТАНА  
(ТЕМПЕРАТУРА И ОСАДКИ 1930-2017 ГГ.)  
*Подрезова Ю.А., Павлова И.А.***

**CLIMATE CHANGE IN SOUTH-WEST KYRGYZSTAN  
(TEMPERATURE AND SEDIMENTS 1930-2017.)  
*Podrezova Yu.A., Pavlova I.A.***

**Абстракт:** По многолетним наблюдениям за общий период 1930–2017 гг. проанализированы происходящие климатические изменения по данным 7 метеорологических станций Юго-Западного Кыргызстана. Анализ проведен для трёх периодов: 1930–1975, 1976–2017 и 1930–2017 гг. Определены характеристики линейных трендов рядов температуры воздуха и осадков. Потепление по территории сопровождалось повышением годовых сумм осадков со скоростью 9,3639 мм/10 лет или на 76 мм за период 1930-2017 гг., а прирост соответствует 12% от среднего значения за период наблюдения. Максимальный рост осадков по территории ЮЗК пришелся на период потепления мирового климата (1976-2017 гг.) и составил 20%, а за период 1930-2017 гг. увеличение осадков значительным оказалось в мае (33%) и сентябре (52%). Рост температуры воздуха по территории ЮЗК «сопровождается увеличением годовых и сезонных сумм осадков что не способствует повышению степени аридности климата, вызванного ростом температуры, т.е. факту потепления климата.

**Ключевые слова:** изменение климата, температура воздуха, атмосферные осадки, потепление, коэффициент тренда, Юго-Западный Кыргызстан.

**Abstract:** According to many years of observation for the general period 1930–2017. The ongoing climatic changes are analyzed according to the data of 7 meteorological stations in South-West Kyrgyzstan. The analysis was carried out for three periods: 1930–1975, 1976–2017, and 1930–2017. The characteristics of linear trends in the series of air temperature and precipitation are determined. Warming in the territory was accompanied by an increase in annual precipitation at a rate of 9.3639 mm / 10 years or by 76 mm for the period 1930-2017, and the increase corresponds to 12% of the average value for the observation period. The maximum increase in precipitation across the territory of the southwestern region occurred during the global warming period (1976-2017) and amounted to 20%, and for the period 1930-2017. The increase in precipitation was significant in May (33%) and September (52%). The increase in air temperature in the territory of the South-West Complex “is accompanied by an increase in annual and seasonal precipitation, which does not contribute to an increase in the degree of climate aridity caused by an increase in temperature, i.e. the fact of climate warming

**Key words:** climate change, air temperature, precipitation, warming, trend coefficient, South-West Kyrgyzstan.

**Введение.** В настоящее время большое внимание уделяется проблеме современного изменения глобального климата и его прогнозу на ближайшие десятилетия. Это связано с тем, что начавшееся с 1900-х годов потепление глобального климата Земли с середины 70-х годов происходит высокими темпами [1].

Для сложного горного региона Юго-Западного Кыргызстана (ЮЗК) характеристика изменений климата проводилась, в основном, в рамках небольших

проектов по отдельно взятым территориальным районам или исследований, связанных с сокращением оледенения и другими узконаправленными прикладными вопросами [2-6].

Цель настоящего климатического исследования – оценить наблюдаемые изменения климата (температуры воздуха и осадков) в Юго-Западном Кыргызстане за период наблюдений с 1930 по 2017 гг.

**Методика анализа и использованный материал.** В настоящей работе в качестве исходных данных для характеристики изменения климата использованы ряды средних годовых, средних месячных температур воздуха и сумм осадков за общий период наблюдений с 1930 по 2017 гг. на 7 метеорологических станциях (МС), расположенных в различных высотных зонах и частях ЮЗК.

В работе применялись климатические и статистические методы и подходы, которыми проводилась оценка временных изменений климата по остальной территории Кыргызстана в работах [7-9].

Найденные угловые коэффициенты трендов  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  и соответствующие им изменения следует использовать строго индивидуально в пределах тех интервалов, для которых они рассчитаны. Оценка статистической значимости уравнений трендов определялась на уровне доверительной вероятности  $p = 0,95$  по  $F$  – критерию Фишера.

**Результаты исследований. Изменение температуры.** В табл.1 приведены значения угловых коэффициентов линейных трендов средней годовой температуры  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  и рассчитанные по трендам изменения температуры  $\Delta T$ . На рис. 1 показан ход 11-летних средних годовых температур с линиями и уравнениями линейных трендов для станций.

Таблица 1. Угловые коэффициенты трендов средней годовой температуры  $b$  и трендовые оценки изменений средней годовой температуры  $\Delta T$  за различные периоды по данным метеорологических станций Юго-Западного Кыргызстана (жирным шрифтом выделены статистически значимые значения)

Период	Скорости изменения температур, °C /10 лет			Величины изменение температуры, °C		
	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$\Delta T_1$	$\Delta T_2$	$\Delta T_3$
Джалал-Абад	<b>0,248</b>	<b>0,444</b>	<b>0,309</b>	<b>0,7</b> (29 л.)	<b>1,5</b> (34 л.)	<b>1,9</b> (63 л.)
Узген	<b>0,102</b>	<b>0,455</b>	<b>0,205</b>	<b>0,4</b> (35 л.)	<b>1,6</b> (35 л.)	<b>1,4</b> (70 л.)
Баткен	-	<b>0,173</b>	<b>0,165</b>	- (7 л.)	<b>0,6</b> (35 л.)	<b>0,7</b> (42 л.)
Пача-Ата(Устье р.Тос)	-0,019	<b>0,262</b>	<b>0,100</b>	-0,1(46 л.)	<b>0,9</b> (34 л.)	<b>0,8</b> (80 л.)
Ак-Терек-Гава	<b>-0,069</b>	<b>0,102</b>	<b>0,058</b>	<b>-0,3</b> (41 л.)	<b>0,4</b> (40 л.)	<b>0,5</b> (81 л.)
Чаткал	<b>0,089</b>	<b>0,115</b>	<b>0,123</b>	<b>0,4</b> (43 л.)	<b>0,4</b> (34 л.)	<b>0,9</b> (77 л.)
Сары-Таш	<b>0,203</b>	<b>0,277</b>	<b>0,251</b>	<b>0,9</b> (42 л.)	<b>1,2</b> (42 л.)	<b>2,1</b> (84 л.)
Среднее	<b>0,092</b>	<b>0,260</b>	<b>0,174</b>	<b>0,3</b>	<b>0,9</b>	<b>1,3</b>
Среднее в зоне подножья	-	-	-	<b>0,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,7</b>
Среднее в зоне склонов	-	-	-	<b>-0,2</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>
Среднее в высокогорной зоне	-	-	-	<b>0,9</b>	<b>1,2</b>	<b>2,1</b>

Для всего исследуемого периода (1930-2017 гг.) на всех станциях отмечались положительные значения угловых коэффициентов трендов  $b_3$ , которые находились в пределах от  $0,058^\circ\text{C}/10$  лет до  $0,309^\circ\text{C}/10$  лет.

В среднем для всей территории ЮЗК за период 1930-2017 гг. в поле средних годовых температур потепление шло со скоростью  $0,174^\circ\text{C}/10$  лет, что дало самую высокую усредненную для территории трендовую оценку повышения температуры  $\Delta T_3(\text{сред}) = 1,3^\circ\text{C}$ .

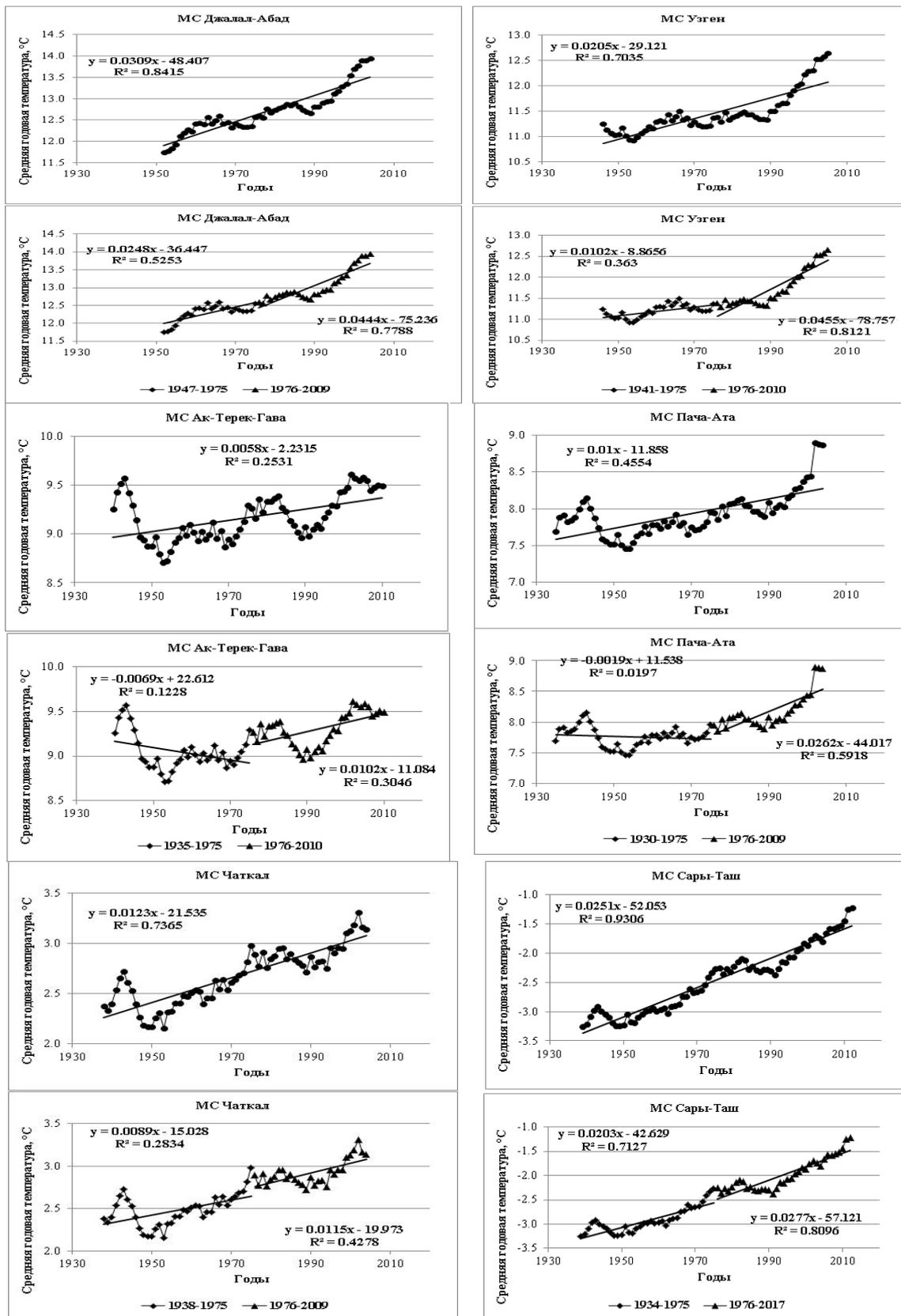


Рис. 1. Ход 11-летних средних годовых температур по метеостанциям Юго-Западного Кыргызстана за весь период наблюдений 1930-2017 гг. и за периоды 1930-1975 и 1976-2017 гг. с линиями и уравнениями линейных трендов

Полученные скорости потепления в среднем по всей территории ЮЗК практически совпадают со скоростью потепления в Иссык-Кульской котловине

(0,17°C/10 лет) [9], но меньше чем в ССЗК (0,253°C/10 лет) [8] и Сусамырской котловине (0,28°C/10 лет) [10]. В высокогорной зоне (МС Сары-Таш) скорость потепления была выше, чем высокогорной зоне восточной части Внутреннего Тянь-Шаня (0,188°C/10 лет) [11].

Таким образом, в полях средних годовых температур на территории ЮЗК в 1930–2017 гг. шло потепление со скоростью  $b_3 = 0,174^\circ\text{C}/10$  лет ( $\Delta T_3 = 1,3^\circ\text{C}$ ). При этом наиболее сильное потепление отмечалось в высокогорной зоне ( $b_3 = 0,187^\circ\text{C}/10$  лет  $\Delta T_3 = 2,1^\circ\text{C}$ ) и зоне подножья ( $b_3 = 0,185^\circ\text{C}/10$  лет,  $\Delta T_3 = 1,7^\circ\text{C}$ ). В средней зоне склонов потепление было достаточно мало ( $b_3 = 0,094^\circ\text{C}/10$  лет,  $\Delta T_3 = 0,7^\circ\text{C}$ ). Для средних месячных температур в целом для 1930–2017 гг. имело место только потепление, причем минимальным оно было в среднем для летних месяцев,  $\Delta T_3 = 0,7^\circ\text{C}$ . В другие сезоны года отмечались следующие средние значения  $\Delta T_3$ : весной  $1,1^\circ\text{C}$ , осенью  $1,9^\circ\text{C}$ , зимой  $1,4^\circ\text{C}$ .

**Изменение осадков.** В табл.2 приведены значения угловых коэффициентов линейных трендов годового количества осадков  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  и рассчитанные по трендам изменения сумм осадков  $\Delta P$ . На рис.3 показан временной ход 11-летних годовых сумм осадков с уравнениями линейных трендов для станций

Таблица 2. Угловые коэффициенты трендов годовых сумм осадков  $b$  и трендовые оценки изменений годовых сумм осадков  $\Delta P$  за различные периоды по данным метеорологических станций Юго-Западного Кыргызстана (жирным шрифтом выделены статистически значимые значения)

Период	Скорости изменения сумм осадков, мм /10 лет			Величины изменения сумм осадков, мм		
	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$\Delta P_1$	$\Delta P_2$	$\Delta P_3$
Джалал-Абад	<b>-33,7554</b>	<b>9,9782</b>	-1,484	<b>-98 (29 л.)</b>	<b>37 (37 л.)</b>	-10 (66 л.)
Узген	<b>-35,4769</b>	<b>41,3911</b>	4,9197	<b>-124 (35 л.)</b>	<b>153 (37 л.)</b>	35 (72 л.)
Баткен	-	<b>11,9581</b>	<b>13,231</b>	- (7 л.)	<b>44 (37 л.)</b>	<b>58 (44 л.)</b>
Пача-Ата (Устье р. Тос)	<b>33,3902</b>	<b>53,1154</b>	<b>17,6079</b>	<b>154 (46 л.)</b>	<b>191 (36 л.)</b>	<b>144 (82 л.)</b>
Ак-Терек-Гава	<b>33,4039</b>	<b>32,1759</b>	<b>22,2851</b>	<b>137 (41 л.)</b>	<b>132 (41 л.)</b>	<b>183 (82 л.)</b>
Чаткал	7,6233	<b>69,2292</b>	2,229	33 (43 л.)	<b>249 (36 л.)</b>	18 (79 л.)
Сары-Таш	<b>12,8091</b>	<b>16,9528</b>	<b>10,6256</b>	<b>54 (42 л.)</b>	<b>70 (41 л.)</b>	<b>88 (83 л.)</b>
Среднее	<b>2,9990</b>	<b>33,5430</b>	<b>9,3639</b>	<b>26</b>	<b>125</b>	<b>76</b>

Из рис. 3 следует, что временной ход 11-летних годовых сумм осадков структурно представлял собой последовательное чередование фаз роста и убывания осадков, как и для ранее рассмотренной температуры. В целом для периода 1930-2017 гг. в поле годовых сумм осадков на 11-летних кривых всех станций (Сары-Таш, Чаткал, Пача-Ата, Ак-Терек-Гава, Узген) имеющих ряд наблюдений более 70 лет, можно видеть четко выраженную основную тенденцию их роста. Только на одной станции Джалал-Абад основной тенденцией является незначительное падение осадков. Как следует из табл. 2, за общий период наблюдений 1930–2017 гг. наблюдался рост осадков 76 мм (в среднем по данным 7 станций) со скоростью 9,36 мм/10 лет, в относительном выражении этот прирост составил 12% от среднего многолетнего значения за общий период наблюдений. Для всего исследуемого периода (1930-2017 гг.) положительные значения угловых коэффициентов линейных трендов месячных сумм осадков  $b_3$  отмечались в 69% случаев.

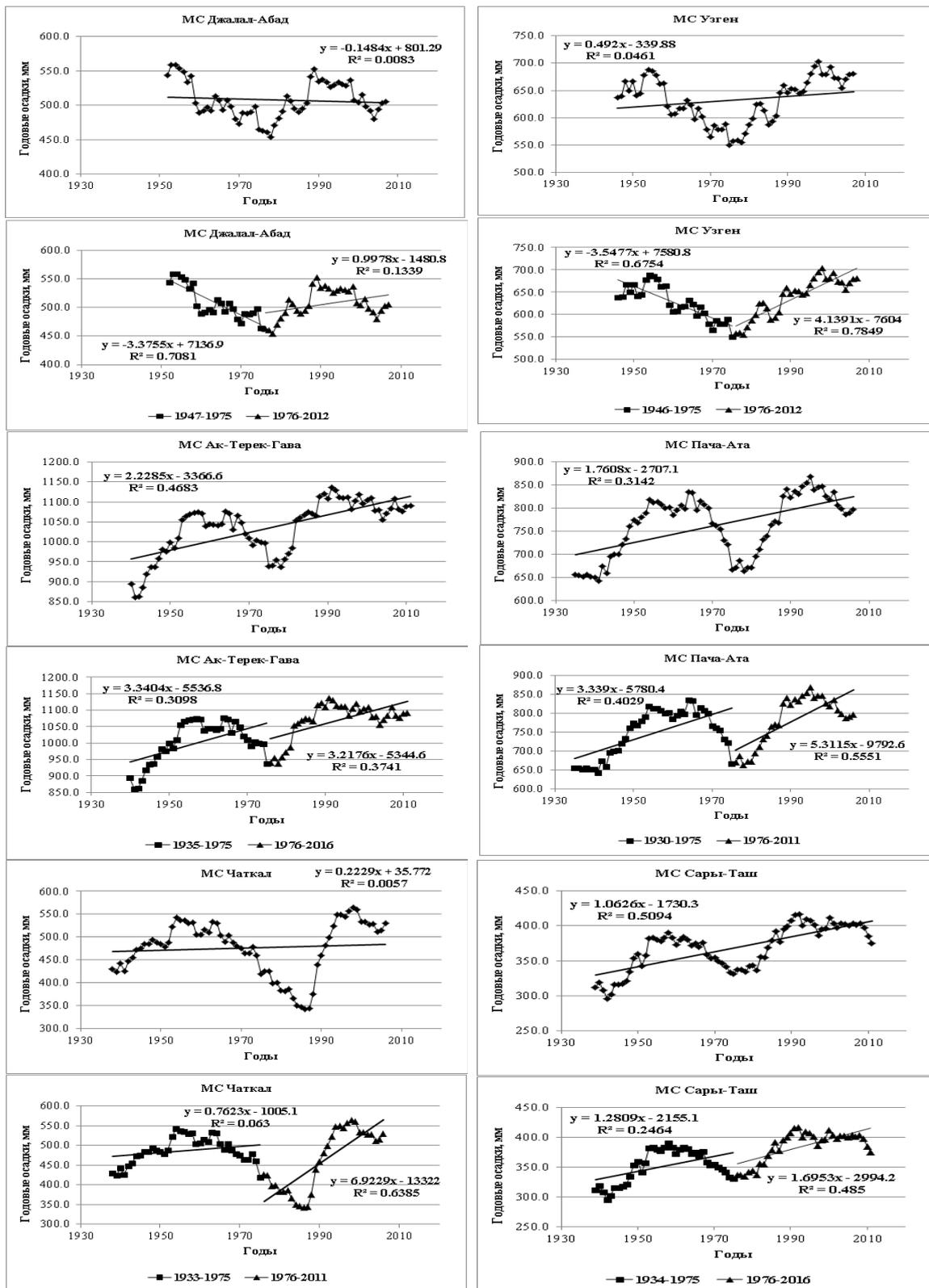


Рис. 3. Ход 11-летних годовых осадков по метеостанциям Юго-Западного Кыргызстана за весь период наблюдений 1930-2017 гг. и за периоды 1930-1975 и 1976-2017 гг. с линиями и уравнениями линейных трендов

В среднем для всей территории ЮЗК в полях месячных сумм осадков в 9 месяцах года имел место рост осадков,  $\Delta P_3(\text{сред})$  составило от 2,5 мм до 28,2 мм или от 14% до 50% месячных средних многолетних значений. Увеличение осадков шло с небольшими скоростями от 0,297 до 3,601 мм/10 лет. Понижение осадков отмечалось в марте ( $b_3(\text{сред}) = -2,605$  мм/10 лет), июне

( $b_3(\text{сред}) = -0,343$  мм/10 лет) и ноябре ( $b_3(\text{сред}) = -0,666$  мм/10 лет). Количество осадков в эти месяцы сократилось на 24, 5, и 9 % соответственно

#### **Выводы**

1. Анализ средних годовых и месячных рядов температуры и осадков по данным метеорологических станций за весь период наблюдений в 1930–2015 гг. позволил получить климатические результаты, значительно расширяющие и уточняющие имевшиеся к настоящему времени оценки потепления климата в Юго-Западном Кыргызстане.

2. Скорость потепления для годовых температур, полученная по линейному тренду за 1930–2015 гг., составила  $0,174^\circ\text{C}/10$  лет ( $\Delta T_3(\text{сред}) = 1,3^\circ\text{C}$ ). Потепление по территории сопровождалось повышением годовых сумм осадков со скоростью  $9,3639$  мм/10 лет или на 76 мм за период 1930-2017 гг. В относительном выражении этот прирост соответствует 12% от среднего значения за период наблюдения.

3. Наиболее значительный рост осадков по территории ЮЗК пришелся на период потепления мирового климата (1976-2017 гг.) и составил 20%. В целом за период 1930-2017 гг. увеличение осадков происходило практически во всем месяце года (исключение март, июнь и ноябрь), и особенно значительным оно оказалось в мае (33%) и сентябре (52%).

4. Повышение температуры воздуха по территории ЮЗК, так же как и в других регионах, «сопровождается увеличением годовых и сезонных сумм осадков, что не способствует повышению степени аридности климата, вызванного ростом температуры, т.е. самим фактом потепления [8]».

#### **Литература**

1. МГЭИК 2014. Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп 1, 2 и 3 в «Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата». Женева, 2014. 163 с.
2. Усубалиев Р.А., Элеманов О.И., Абылмейизова Б.У., Осмонов А.Т. Реакция оледенения юго-западного Тянь-Шаня на региональные проявления современного изменения климата. //Наука и новые технологии. № 3. Бишкек. 2010. С. 44-48.
3. Усубалиев Р.А., Дудашвили А.С., Элеманов О.И. Оледенение северных склонов Туркестанского и Алайского хребтов и его современная динамика // Лёд и Снег. 2012. № 1 (117). С. 24–28.
4. Молдобеков Б.Д., Мандычев А.Н., Калашникова О.Ю., Павлова И.А., Подрезова Ю.А. Исследование тенденции изменения климата в Кыргызстане. // Вестник МУК. 2016. №1 (29). С. 38–46.
5. Glazirin G.E., Gavrilenko N.N. Climate change in Western Tian-Shan and related change of river runoff // Problems of geography and geo-ecology. 2013. № 1. С. 28-30.
6. Тенденция изменения климата, влияние и адаптация в Кара-кулжинском районе. Итоговый отчет. Отчет Фонда Ага Хана. Кыргызстан. 2011. 39 с.
7. Подрезов О.А., Подрезов А.О. Современное изменение осадков на территории Северного и Северо-Западного Кыргызстана // Географический вестник. 2015. № 4 (35). С. 26–33.
8. Подрезов О.А., Подрезов А.О. Современное потепление климата Северного и Северо-Западного Кыргызстана // Географический вестник. 2015. № 3 (34). С. 55–66.
9. Подрезов О.А., Подрезов А.О. Структура современного потепления климата Иссык-Кульской котловины // Географический вестник. 2013. № 3 (26). С. 78–87.
10. Павлова И.А., Кретова З.А. Современные изменения температуры и осадков в Суусамырской долине. Материалы международной конференции «Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии». Бишкек: изд. ЦАИИЗ. 2014. С. 345–352.
11. Подрезова Ю.А., Павлова И.А. Изменение климата в районе массива Ак-Шийрак и его влияние на ледники // Лед и Снег. 2017. №2 (57). С. 200–212.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ТАЛОГО СТОКА В ВЫСОКОГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ВНУТРЕННЕГО ТЯНЬ-ШАНЯ.

*Рец Е.П.<sup>1</sup>, Белозеров Е.В.<sup>2</sup>, Петраков Д.А.<sup>3</sup>, Шпунтова А.М.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Россия;

<sup>2</sup>Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия;

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия.

## MODELLING OF GLACIER RUNOFF FORMATION IN THE ALPINE ZONE OF INNER TIEN-SHAN

*Rets E.P.<sup>1</sup>, Belozеров E.V.<sup>2</sup>, Petrakov D.A.<sup>3</sup>, Shpuntova A.M.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Water Problems Institute Russian Academy of Sciences; Moscow; Russia;

<sup>2</sup>Institute of Geography Ru Russian Academy of Sciences; Moscow; Russia;

<sup>3</sup>Lomonosov Moscow State University; Moscow; Russia.

**Аннотация:** В работе обсуждается опыт применения физико-математической модели таяния льда и снега в высокогорных областях AMelt для моделирования компонент баланса массы и формирования водоотдачи на ледниках массива Ак-Шийрак Внутреннего Тянь-Шаня. Для моделирования баланса массы и водоотдачи с ледников Сары-Тор и № 354 (Центральный Тянь-Шань) применена физико-математическая модель таяния снега и льда в гляциально-нивальном зоне AMelt. Восстановлен баланс массы ледников за 2003-2015. Получены зависимости среднемесячных значений стока за теплый период года с высоким уровнем значимости для ряда Тянь-Шанских рек от водоотдачи с ледника 354. Полученная связь дает прогностический потенциал для определения изменений стока горных рек Тянь-Шаня при изменении климата и режима водоотдачи из гляциально-нивальном зоны.

**Ключевые слова:** физико-математическое моделирование, AMelt, сток ледниковых рек, Тянь-Шань, водоотдача, баланс масс, сток, прогноз таяния.

**Abstract:** Application of an energy-balance AMelt model for modelling mass-balance component and glacial runoff formation in the Ak-Shyirak massive of the Inner Tian-Shan is discussed. To model the balance of mass and water loss from the Sary-Tor and No. 354 glaciers (Central Tien-Shan), a physical and mathematical model of snow and ice melting in the glacial-nival zone of AMelt was applied. The mass balance of glaciers for 2003-2015 was restored. The dependences of the monthly average runoff values for the warm period of the year with a high level of significance for a number of Tien Shan rivers and the water discharge from the glacier 354 were obtained. The obtained relationship gives a prognostic potential for determining changes in the runoff of the Tien Shan mountain rivers with climate change and the regime of water loss from glacial nival zone.

**Ключевые слова:** energy-balance modelling, AMelt, glacial runoff, Tien-Shan, water loss, mass balance, runoff, melting forecast.

**Введение.** В стоке основных рек Средней Азии ледники Тянь-Шаня играют значимую роль. В летнее время доля ледникового питания в стоке рек составляет 20-40%, достигая 70-80% в жаркие засушливые года. Для данного региона характерны высокие темпы сокращения площади ледников, которое, как ожидается, приведет в дальнейшем к понижению стока рек в летнее время [1]. Для кор-

ректного прогнозирования грядущей эволюции ледников и связанным с ним изменением водообеспеченности требуется детальная информация об отклике оледенения на современные и прошлые изменения климата. Такую информацию могут дать как прямые наблюдения за балансом массы, так и моделирование массообмена ледника. Прямые наблюдения за балансом ледников Внутреннего Тянь-Шаня были прекращены вскоре после развала СССР. Именно такая ситуация сложилась и на леднике Сары-Тор, признанном опорным для оледенения массива Ак-Шийрак, и бывшим объектом масс-балансового мониторинга в 1985-1991 гг. Ледники Сары-Тор и №354 расположены в верховьях бассейна Нарына в пределах массива Ак-Шийрак. Ледник №354 был объектом прямых измерений баланса массы в 2011-2017 гг. [2] (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1. Параметры исследуемых объектов

Ледник	Площадь, км <sup>2</sup>	Бассейн	Диапазон высот	Период прямых масс-балансовых наблюдений
Сары-Тор	2,73	р.Нарын (приток р.Сыр-Дарья)	3900-4800	1985-1991
№. 354	6,44		3750-4680	2011-2016

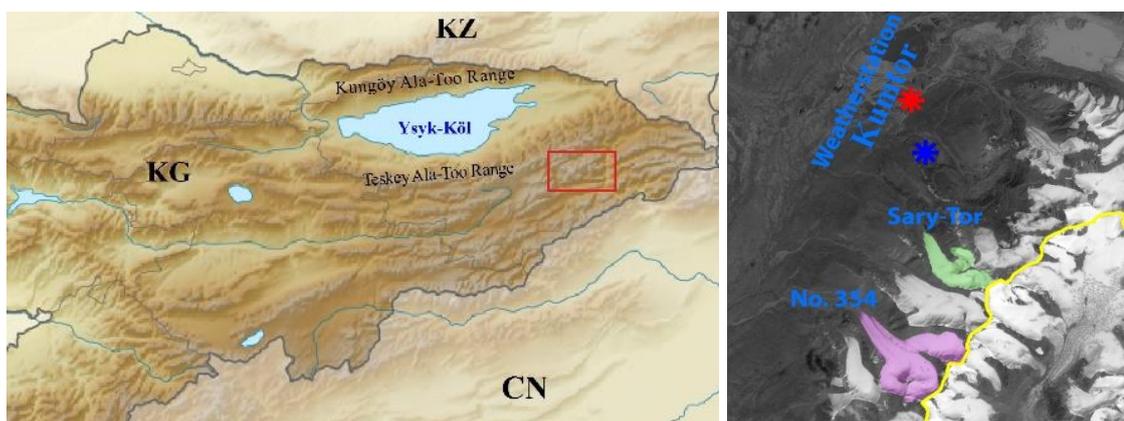


Рис. 1. Местонахождения ледников Сары-Тор, № 354 и метеостанции Кумтор

**Методы и данные.** Для исследования режима таяния и формирования талого стока с ледников массива Ак-Шийрак (Центральный Тянь-Шань) была использована физико-математическая модель таяния снега и льда в гляциально-нивальной зоне AMelt с распределенными параметрами [3, 4]. В основе моделирования таяния снега лежит решение уравнения теплового баланса в каждой точке расчетной сетки [3, 4]:

$$\omega = (S_b + S_{df})(1 - A) + E_a - E_3 \pm \omega_T \pm \omega_{w/k} \pm Q_M \pm Q_T,$$

где  $h_m$  – слой талой воды, мм;  $L$  – скрытая теплота плавления снега, равная 80 кал/г;  $\omega$  – тепловой баланс поверхности снега или льда, кал/см<sup>2</sup>,  $S_b$  – входящая прямая коротковолновая радиация;  $S_{df}$  – то же, рассеянная;  $A$  – альbedo поверхности;  $E_a$  – встречное излучение атмосферы;  $E_3$  – длинноволновое излучение земной поверхности;  $\omega_T$  – турбулентный (явный) теплообмен с атмосферой;  $\omega_{w/k}$  – скрытый поток тепла, обусловленный испарением и конденсацией;  $Q_M$  – поток тепла через чехол моренных отложений;  $Q_T$  – изменение энергии за счёт охлаждения и нагревания снега.

Снежная толща в расчетной схеме представлена как система слоев, между которыми происходит теплопередача и гравитационная фильтрация воды. Нагрев/охлаждение активного слоя льда происходит способом молекулярной теплопроводности, при этом дополнительным источником тепловой энергии служит повторное замерзание воды на поверхности ненагретого до температуры плавления льда. Водоотдача воды из фирновой толщи происходит после удовлетворения так называемого cold content (содержания холода) фирна [5].

Результаты моделирования представляют собой расчет слоя таяния снега, фирна и льда, и слой водоотдачи в каждой точке регулярной сетке (30\*30 м) в каждый шаг времени (1 час).

Принципиальная схема модели представлена на рис. 2.

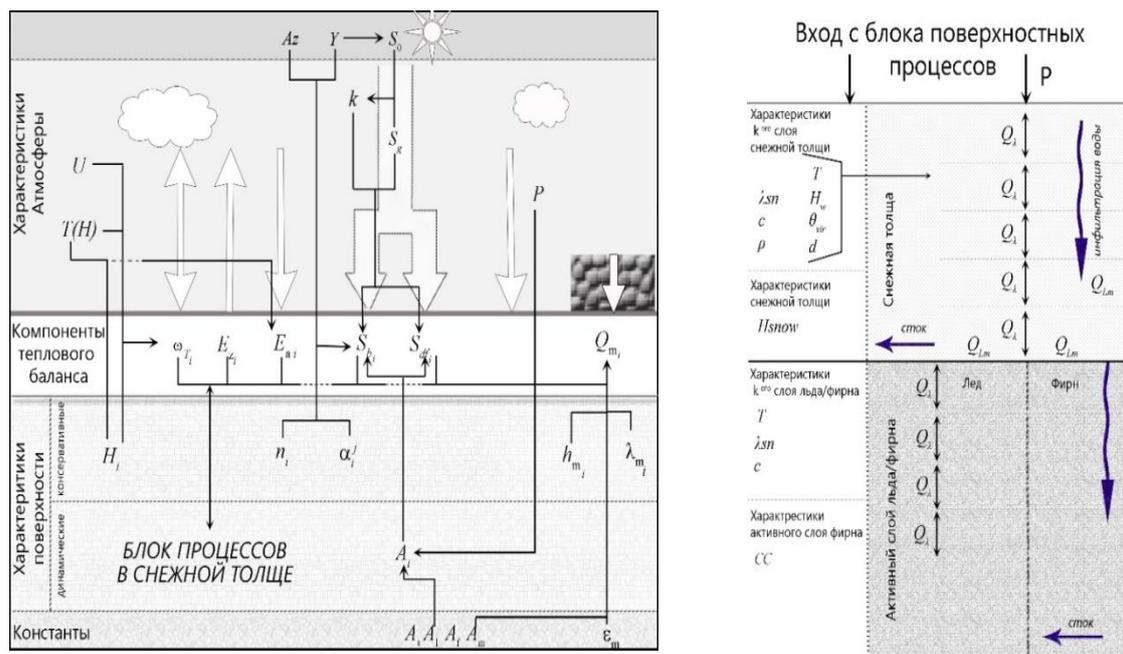


Рис. 2. Принципиальная схема блока поверхностных процессов модели AMelt [3] блока процессов в снежной толще и на границе снег-лед в новой версии модели AMelt.

Входными данными в модель послужили: 1) Цифровая модель рельефа, составленная из высокодетальной модели полученной для поверхности ледников Сары-Тор и 354 из стереопары GeoEye (29/07/2012) и цифровой модели SRTM для окружающих форм рельефа; 2) Метеорологические данные с разрешением в 1 час за 2003-2014 гг. с автоматической метеостанции Campbell, расположенной менее чем в 5 км от ледника, были предоставлены Кумтор Голд Компании; 3) Фирновая линия и границы ледников для каждого года определялись по снимкам Landsat. Для калибровки таких параметров модели как градиент осадков, температурный скачок и градиент температуры, параметр концентрации осадков, толщина расчетного слоя снега и поверхностного слоя льда использовались данные изменения таяния по речной сети на ледниках Сары-Тор и №354 в 2015 (рис. 3 а). Верификация модели была проведена на независимом материале – данным изменения таяния по речной сети на ледниках Сары-Тор в 2014 гг (рис. 3 б).

**Результаты.** Сравнение измеренных слоев таяния с рассчитанными показало хорошее воспроизведение моделью AMelt слоя таяния в различных высотных зонах ледника: коэффициент корреляции измеренных с рассчитанными данными составляет 0.98, рассчитанный критерий качества прогноза годового слоя таяния ледника NSE составил 0.6.

Для верификации результатов моделирования было проведено сравнение изменения высоты поверхности ледника Сары-Тор за период 2003-2013 по стереопарам высокодетальных космических снимков QuickBird и GeoEye [6] с суммарным смоделированным значением баланса массы ледника за этот период. Среднее уменьшение высоты поверхности по геодезическому методу составило 3.8 м, по данным моделирования – 3.48 м. Отклонение результатов моделирования составило 8.4%, таким образом, можно говорить о том, что результаты моделирования при помощи модели AMelt достоверно отображают динамику баланса массы ледника.

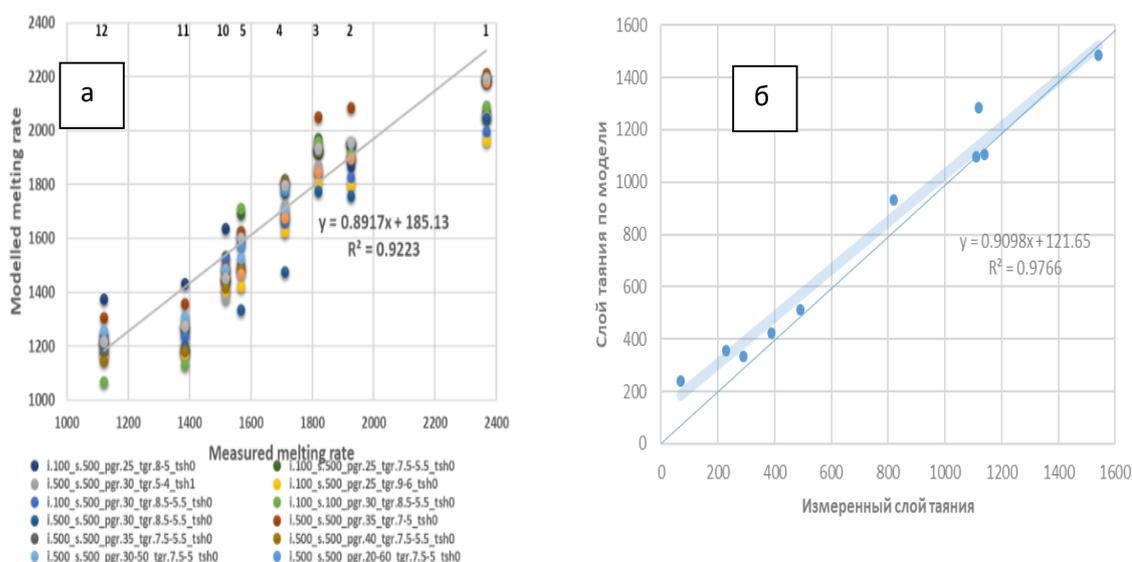


Рис. 3. Калибровка (а) параметров модели AMelt с использованием данных наблюдений по речной сети на леднике Сары-Тор в 2015 и верификация (б) с использованием данных наблюдений по речной сети на леднике Сары-Тор в 2014.

Были проведены тесты чувствительности модели к изменениям калибруемых параметров, показавший хорошую устойчивость расчетной схемы: при изменении значений толщина расчетного слоя снега и поверхностного слоя льда на порядок, завышение темпов таяния происходило в пределах 20-30%.

Годовые значения аккумуляции а леднике Сары-Тор по данным моделирования изменяются год от года в пределах 0.8 – 1.4 м в.э. (метры водного эквивалента), значения абляции – от -1 до -1.8 м в.э. Баланс массы ледника отрицателен для большинства лет в течение исследуемого периода (в среднем -0.49 м в.э. в год), его динамика повторяет тенденции отмечаемые на ледниках Тянь-Шаня по данным прямых наблюдений (рис. 4). Единственным положительным с точки зрения баланса массы годом явился 2009, за счет низкой абляции и повышенной аккумуляции, наблюдавшейся в этом году. Положительный или слабоотрицательный баланс массы в 2009 году также характерен для большинства ледников Тянь-Шаня (рис. 4). Динамика элементов баланса массы ледника №354 во многом повторяет соответствующие тенденции на леднике Сары-Тор ввиду географической близости, экспозиции, общего уклона и диапазона высот. По полученным результатам моделирования прослеживается тесная связь между балансом массы между ледниками №354 и Сары-Тор.

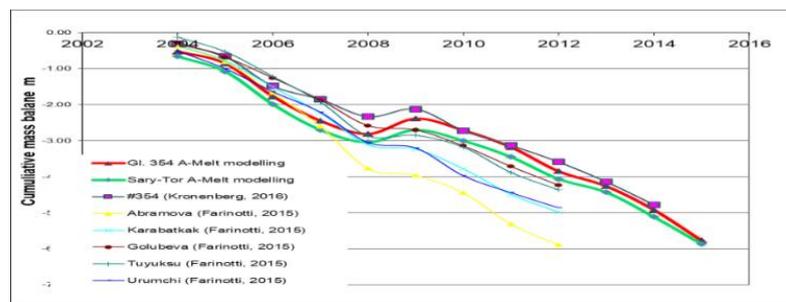


Рис. 4. Сравнение кумулятивного баланса массы ледника №354 и Сары-Тор по результатам моделирования с другими ледниками Тянь-Шаня по оценкам из литературных источников.

Модель A-Melt также позволяет определить величину водоотдачи с поверхности ледника в каждой точке расчетной сетки в каждый временной момент. Максимальная водоотдача характерна для нижней части ледника, первых зон (рис. 5). С ростом высоты зон водоотдача равномерно уменьшается и в верхних зонах близка к 0.

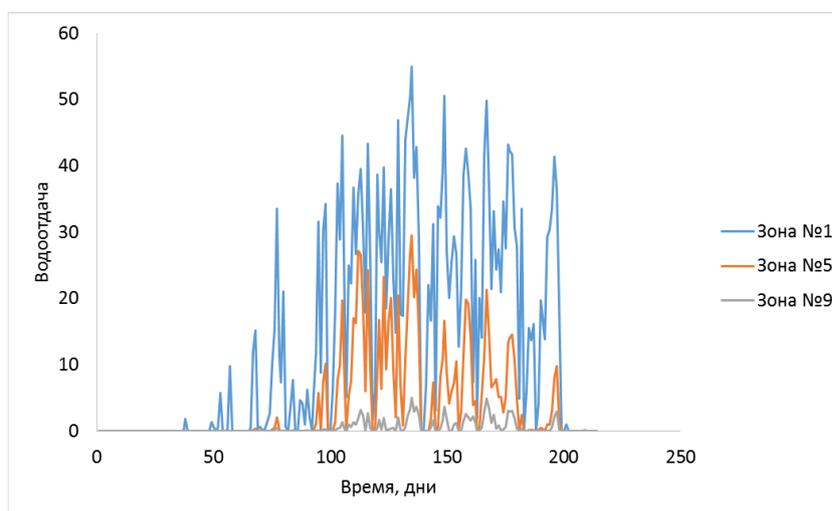


Рис. 5. Водоотдача в мм с ледника №354, 2004 г.

В работе была проанализирована связь водоотдачи с ледника №354, рассчитанной по модели, с расходами воды отдельных рек данного региона за теплый период года. В результате анализа было обнаружено, что связь теснее в случае тех бассейнов, где максимальна доля ледникового питания – реки Чон-Кызыл-Су - Лесной кордон, Сасык – с. Барскон (рис. 6 б, в).

Это небольшие водосборы с большой долей оледенения.

Коэффициент корреляции среднемесячных значений стока за теплый период года и суммарной водоотдачей за данный месяц с ледника 354 равен соответственно 0.86 и 0.91.

Для реки Малый Нарын в створе поста Кичи, находящимся в 80 км ниже по течению от ледника № 354, с площадь оледенения около 9%, зависимость также весьма значима, но менее тесна - коэффициент корреляции равен 0.81 (рис. 6 а). Меньшая, на все же сильная, связь обнаружена для р. Нарын значительно ниже по течению – в створе г.Нарын. Коэффициент корреляции равен 0.76 (рис. 6 г). Данная связь дает прогностический потенциал для определения изменений стока горных рек Тянь-Шаня при изменении климата и режима водоотдачи из гляциально-нивальная зоны.

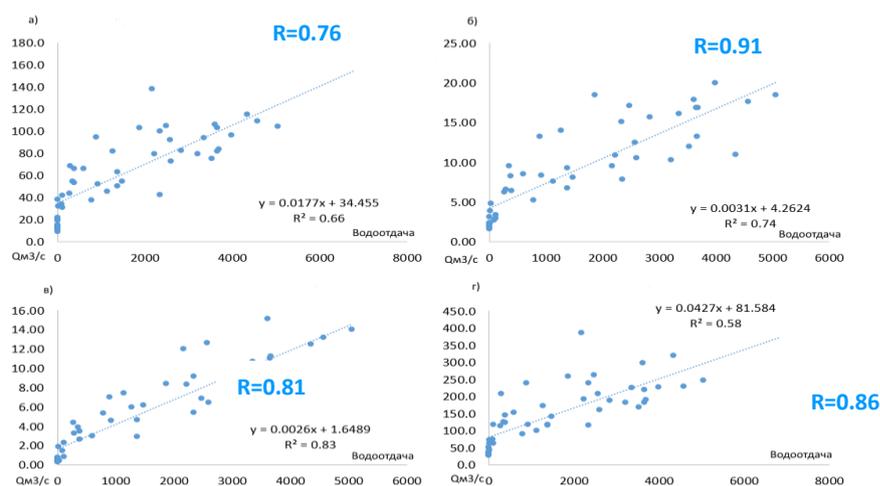


Рис. 6. График зависимости расходов воды от водоотдачи с ледника №354 для, а) река Малый Нарын – поселок Кичи б) река Чон Кызыл-Суу – пост Лесной кордон в) река Са-сык – село Барскон г) река Нарын – город Нарын

### Выводы

1. Физико-математическая модель таяния снега и льда в гляциально-нивальном зоне AMelt, была результативно применена для моделирования баланса массы и водоотдачи с ледников Сары-Тор и № 354 (Центральный Тянь-Шань).
2. Был восстановлен баланс массы ледников за 2003-2015. Получены зависимости среднемесячных значений стока за теплый период года для ряда Тянь-Шанских рек от водоотдачи с ледника 354 с высоким уровнем значимости.
3. Данная связь дает прогностический потенциал для определения изменений стока горных рек Тянь-Шаня при изменении климата и режима водоотдачи из гляциально-нивальном зоны.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-2936.2019.5

### Список литературы

1. Hagg, W., Mayer, C., Lambrecht, A., Kriegel, D., Azizov, E. Glacier changes in the Big Naryn basin, Central Tian Shan // *Global and Planetary Change* 110, 2013: 40–50.
2. Kronenberg, M., Barandun, M., Hoelzle M., Huss, M., Farinotti, D., Azisov E., Usabaliev R., Gafurov, A., Petrakov, D., Kaab, A. Mass-balance reconstruction for Glacier No. 354, Tien Shan, from 2003 to 2014. // *Annals of Glaciology* 57(71), 2016: 11-23.
3. Рец Е.П., Фролова Н.Л., Поповнин В.В. Моделирование таяния поверхности горного ледника. *Лёд и Снег*, № 4., 2011: 24–31.
4. Рец Е.П., Киреева М.Б., Лошакова Н.А. Использование теплораспределительной модели для исследования особенностей формирования стока ледниковой реки (на примере бассейна руч. Джанкуат). *Евразийский Союз Ученых (ЕСУ)*, № 4., 2014.: 97-103.
5. Takeuchi, N., Fujita, K., Aizen, V. B., Narama, C., Yokoyama, Y., Okamoto, S., Naoki, K., Kubota, J. The disappearance of glaciers in the Tien Shan Mountains in Central Asia at the end of Pleistocene. *Quaternary Science Reviews*, 103, 26-33, 2014.
6. D. Petrakov, A. Shpuntova, A. Aleinikov, A. Käb, S. Kutuzov, I. Lavrentiev, M. Stoffel, O. Tutubalina, and R. Usabaliev. Accelerated glacier shrinkage in the Ak-Shyirak massif, inner Tien Shan, during 2003-2013. *Science of the Total Environment*, 562:364–378, 2016.



## СПУТНИКОВЫЕ КАРТЫ ГОДОВЫХ И СЕЗОННЫХ СУММ ОСАДКОВ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА

*Рыскаль М.О.*

## SATELLITE MAPS OF ANNUAL AND SEASONAL PRECIPITATION FOR THE TERRITORY OF KYRGYZSTAN

*Ryskal M.O.*

**Аннотация:** В данной статье описывается технология адаптации спутниковых данных об осадках (модель TMPA 3B43) в соответствии со специально найденными статистически значимыми уравнениями регрессии между спутниковыми и наземными данными и составлением карты осадков. Значения принятых сезонных и годовых количеств осадков находятся в хорошей корреляции с предыдущими картами и многолетними данными метеостанций и рекомендуются для практического использования. Разработана методика использования спутниковых данных по осадкам для сложной горной территории Кыргызстана, и построены на ее основе карты приведенных годовых и сезонных сумм осадков за период 01.1998 – 02.2014 гг. которые хорошо отражают реальную картину пространственного распределения осадков по этой территории. Предлагаемая методика может также быть использована для аналогичных разработок по другим горным регионам.

**Ключевые слова:** Кыргызстан, осадки, годовые и сезонные количества, принятые спутниковые данные, карты осадков, уравнения регрессии, спутники.

**Abstract.** This article describes a technology of satellite precipitation data (TMPA 3B43 model) adaptation according to specially found statistically significant regression equations between the satellite and ground data and precipitation map creation. The values of adopted seasonal and annual amounts of precipitation are in good correlation with previous maps and multi-year data from weather stations and are recommended for practical use. A methodology has been developed for using satellite data on precipitation for the complex mountainous territory of Kyrgyzstan, and maps of the annual and seasonal sums of precipitation for the period 01.1998 - 02.2014 were constructed on its basis. which well reflect the real picture of the spatial distribution of precipitation in this territory. The proposed methodology can also be used for similar developments in other mountainous regions.

**Keywords** Kyrgyzstan, precipitation, annual and seasonal amounts, adopted satellite data, precipitation maps, regression equations, satellites.

**Введение.** Осадки являются одним из самых важных и самых изменчивых элементов климата. Особенно это справедливо для такой орографически сложной горной территории как Кыргызстан. Имеющиеся карты годовых и сезонных сумм осадков для него получены по данным метеостанций, гидропостов, суммарных осадкомеров (всего около 300 точек) и косвенным гляциологическим данным и соответствуют периоду второй половины-конца 20 века [1-3]. После 1990 гг. сеть станций и постов Кыргызгидромета сократилась почти втрое, и нет предпосылок для ее существенного расширения в ближайшее время. В такой ситуации естественным, и практически единственным, выходом из положения является использование современных спутниковых данных по осадкам.

Целью настоящей работы, как части диссертационного исследования автора, явилась разработка технологии построения спутниковых годовых и сезонных карт осадков для сложной горной территории Кыргызстана за период после 1998 г., для которого данные спутниковых наблюдений имеются на сайте NASA.

В качестве исходных данных использованы месячные спутниковые суммы осадков по модели TMPA 3B43 (территории Кыргызстана соответствует 351 пиксель) за период с 01.1998 по 02.2014 г., находящиеся в свободном доступе на сайте NASA [4]. Из них создаются 4 массива пикселей, соответствующих каждой из 4 его климатических провинций [1]: Северный, северо-западный Кыргызстан (ССЗК – 44 пикселя), Юго-западный Кыргызстан (ЮЗК – 123 пикселя), Иссык-Кульская котловина (ИКК – 40 пикселей) и Внутренний Тянь-Шань (ВТШ – 144 пикселей).

Результаты валидации спутниковых данных модели TMPA 3B43 [5,6] позволили рекомендовать практическое использование этих данных для оценки годовых и сезонных сумм осадков в Кыргызстане с его сложной горной орографией. Методология всех практических решений построения спутниковых карт осадков для Кыргызстана изложена в наших работах [6,7]. Приведем здесь только ее основные принципиальные положения и техническую последовательность решений.

1. Для того чтобы выбрать спутниковые точки по каждой из климатических провинций при помощи использованной ГИС - QGIS задаются границы провинций [6] и каждой из них присваивается свое имя, что технически значительно ускоряет процесс расчета необходимых сумм осадков.

2. По месячным суммам осадков по спутнику, взятым с сайта NASA [4], для каждого пикселя полученных массивов рассчитываются *исходные годовые и сезонные суммы* осадков для климатических провинций и Кыргызстана в целом.

3. По исходным спутниковым суммам осадков рассчитываются (для каждого года) массивы *приведенных к наземным данным метеостанций* годовых и сезонных сумм осадков для каждого пикселя климатических провинций. Это делается по специально найденным нами [8,9] статистически значимым уравнениям регрессий между значениями осадков по наземным и спутниковыми данными. Всего получено 96 таких уравнений для Кыргызстана в целом, его различных провинций и высотных зон, для годовых и сезонных сумм осадков. Разработана специальная технология выбора и использования в каждом случае (Кыргызстан в целом, климатическая провинция, годовая или сезонная сумма осадков) наиболее подходящих уравнений регрессий или величин фактических отношений наземных и спутниковых осадков, когда корреляция оказывалась статистически незначимой.

4. Используя полученные, таким образом, приведенные суммы осадков для каждого из массивов пикселей получим для Кыргызстана: а) средние для периода 01.1998 – 02.2014 гг. *приведенные значения сумм осадков* за год и сезоны, как интегральных характеристик увлажнения, б) с помощью программы QGIS построим карты *приведенных годовых и сезонных сумм осадков*.

**Результаты и обсуждение.** В табл. 1 приведены исходные спутниковые данные и полученные по описанной технологии *приведенные к показаниям метеостанций* рассчитанные спутниковые суммы осадков по Кыргызстану и 4 его климатическим провинциям за год и сезоны за период с 01.1998 по 02.2014 гг. В ней даны не только средние значения сумм, но и их максимальные и минимальные величины. Эти характеристики являются интегральными показателями увлажнения Кыргызстана в исследуемый 16-летний период. Одновременно они дают не только пределы изменения полученных характеристик, но и степень их расхождения с исходными спутниковыми данными. Последнее показывает - насколько эффективными оказались разработанные методические решения по приведению спутниковых данных к наземным данным метеостанций, принятым за эталон.

Таблица 1 – Статистические характеристики средних годовых и сезонных сумм осадков по исходным и приведенным данным для Кыргызстана в целом и ССЗК, ЮЗК, ИКК и ВТШ. Обозначения: среднее –  $\bar{R}$ , максимальное –  $R_{\max}$  и минимальное –  $R_{\min}$  количество осадков.

Год/сезон	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	Исх.	Прив.	Исх.	Прив.	Исх.	Прив.	Исх.	Прив.	Исх.	Прив.
Вид данных	Кыргызстан									
$\bar{R}$ , мм	467	495	83	69	164	170	123	164	96	101
$R_{\max}$ , мм	920	1312	305	251	339	322	261	334	196	226
$R_{\min}$ , мм	281	136	20	8	64	33	31	62	49	18
ССЗК										
$\bar{R}$ , мм	533	549	97	89	190	198	128	155	118	127
$R_{\max}$ , мм	742	741	172	106	280	268	200	249	173	183
$R_{\min}$ , мм	414	441	58	80	139	158	64	72	78	88
ИКК										
$\bar{R}$ , мм	485	486	62	49	144	143	169	196	109	110
$R_{\max}$ , мм	602	629	87	71	198	198	214	247	149	153
$R_{\min}$ , мм	357	136	36	8	103	33	136	106	64	18
ЮЗК										
$\bar{R}$ , мм	471	593	114	116	182	151	84	132	91	107
$R_{\max}$ , мм	920	1312	305	262	339	219	166	243	196	223
$R_{\min}$ , мм	289	303	61	76	103	117	31	62	49	60
ВТШ										
$\bar{R}$ , мм	439	398	58	40	147	122	143	185	91	76
$R_{\max}$ , мм	823	827	160	96	303	199	261	288	178	203
$R_{\min}$ , мм	281	261	20	12	64	74	98	124	58	42

Как видно из табл. 1, в среднем для территории Кыргызстана приведенные среднегодовые суммы составляют 495 мм, а по исходным данным они равны 467 мм, то есть всего на 6% меньше (здесь и далее указывается процент от исходных данных). Однако максимальная сумма осадков за год по исходным спутниковым данным составила 920 мм, а по приведенным 1312 мм. Минимальная сумма осадков после приведения уменьшилась до 136 мм/год и соответствует крайней западной части ИКК.

По отдельным сезонам для всей территории Кыргызстана весной летом и осенью приведённые  $\bar{R}$ , мм оказались больше исходных соответственно на 4, 33 и 5%. Лишь зимой, когда осадков выпадает мало, приведённые суммы оказались ниже исходных на 17%. По приведенным данным максимальные сезонные суммы оказались меньше исходных для зимы и весны и больше для лета и осени, тогда как минимальные суммы больше лишь для лета.

Интегральные статистические характеристики до и после приведения по различным климатическим провинциям выглядят следующим образом. Среднегодовые суммы осадков по всем климатическим провинциям кроме ВТШ оказались меньше для исходных данных, при этом наибольшая разница отмечается в ЮЗК – 26% и в ВТШ – 9%. Максимальные среднегодовые суммы осадков существенно изменились лишь для ЮЗК, где они стали больше на 43% (1312 мм). Минимальные же среднегодовые значения по приведенным данным существенно уменьшились для ИКК – на 62%.

Средние сезонные суммы осадков для лета и осени для ССЗК, ИКК и ЮЗК по приведенным данным больше исходных, тогда как зимой по этим провинциям, а также для ЮЗК весной и для ВТШ зимой, весной и осенью наблюдается обратная тенденция. Наибольшая разница между данными соответствует летнему сезону, наилучшая же согласованность наблюдается весной.

Для сравнения на рис. 1 и 2 показаны карты среднегодовых сумм, построенные за период январь 1998 – февраль 2014 по исходным спутниковым данным (рис. 1), и по приведенным данным, т.е. после их обработки по описанной методике (рис.2).

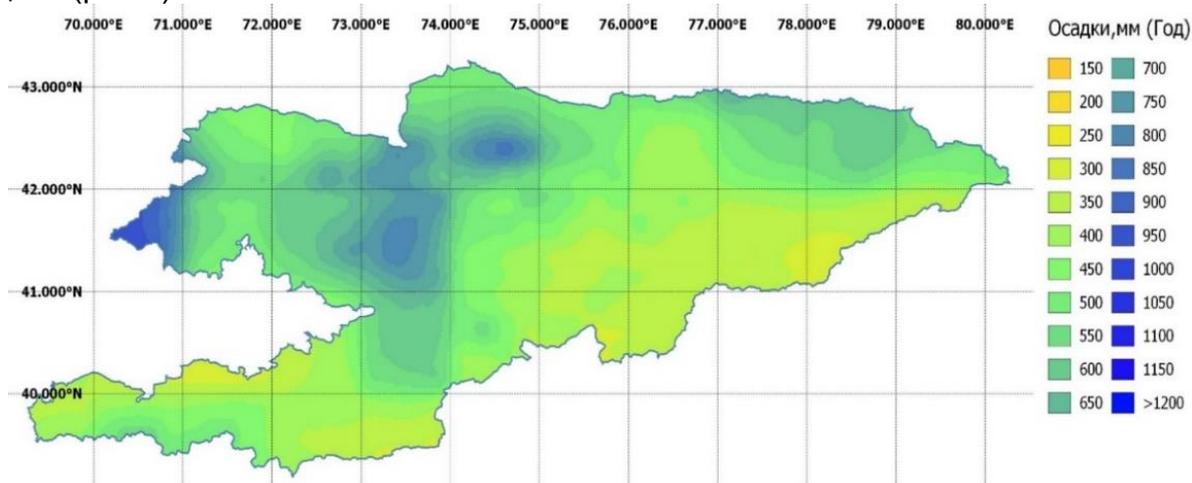


Рис. 1. Карта средних годовых сумм осадков за период январь 1998 – февраль 2014 гг. по исходным спутниковым данным.

Как видно из рис. 2, карта приведенных средних годовых сумм осадков за период 01.1998 – 02.2014 гг. и качественно, и количественно хорошо отражает полученную в работах [1-3] картину многолетнего распределения осадков по Кыргызстану. На ней четко отражены области наиболее высоких значений осадков, соответствующие склонам Ферганского и Угамского хребтов, повышенные суммы осадков в гребневой зоне северных передовых хребтов Тянь-Шаня, а также в высокогорных областях Внутреннего Тянь-Шаня. Одновременно на ней хорошо отражена область наиболее их низких значений в западной части ИКК. Численно картина годового распределения осадков по территории Кыргызстана по этой карте выглядит следующим образом. В ССЗК приведенные величины годовых осадков растут от подгорной равнины и подножий, где они составили 400 – 600 мм к высокогорной и нивальным зонам до 800 – 1000 мм. Это хорошо согласуется со средним распределением осадков, отраженным на картах П.Н. Пономаренко [1,2] и В.А. Кузьмиченка [3]. Так, по первой из карт [1] осадки в этих зонах меняются в диапазоне 350 – 1050 мм, а по второй – в диапазоне 300 – 1200 мм. В связи с тем, что по ИКК получились незначимые уравнения регрессии, было принято решение заменить их общими регрессиями для всего Кыргызстана [8].

Для того, чтобы получить более реалистичную картину распределения осадков в крайней западной части ИКК после дополнительного анализа нами был рассчитан корректирующий спутниковые осадки коэффициент  $K_{корр}$ .

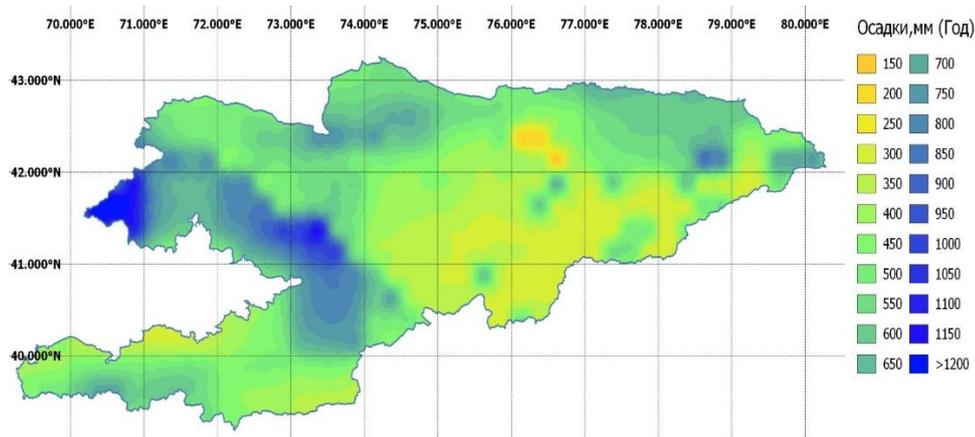


Рис. 2. Карта средних годовых сумм осадков за период январь 1998 – февраль 2014 гг. после приведения исходных спутниковых данных к показаниям наземных метеостанций.

По исходному массиву наземных данных, используемых для валидации (1998-2007 гг.)  $K_{\text{корр}}$  для годовых сумм осадков здесь оказался равен 0,38. Для остальной части ИКК приведение было осуществлено по общему для Кыргызстана уравнению регрессии. Таким образом, приведенные значения среднегодовых сумм осадков в ИКК увеличились в днище котловины при смещении с запада от менее 140 до 500 мм на восток. Одновременно они возросли от подножий к гребневой зоне окружающих хребтов до 700 мм. Карта среднегодовых осадков П.Н. Пономаренко [1,2] дает здесь их увеличение к гребневым зонам хребтов до 600 – 800 мм, а карта Кузьмиченка [3] даже до 1000 – 1200 мм. Так, что наши данные в целом находятся в согласии с полученными в этих работах. Но надо отметить, что решение вопроса об осадках в высокогорной зоне ИКК до сих пор имеет большую неопределенность, ввиду практического отсутствия метеостанций в среднегорной и высокогорной зонах. На наш взгляд, полученная нами оценка около 600 мм осадков в гребневой зоне западной части котловины, более соответствует реальным условиям, так как здесь на склонах нет зоны леса (что объясняется только недостаточностью увлажнения), тогда как на склонах средней и особенно восточной части котловины хвойные леса представлены весьма хорошо.

Для ЮЗК приведенные среднегодовые осадки в пределах предгорной зоны составили по нашей карте 200 – 500 мм и увеличиваются до максимальных значений в гребневой зоне по склонам окружающих хребтов в зависимости от их ориентации. Так, на северо-западе ЮЗК на передовых хребтах-барьерах Угамском и Ферганском осадки возрастают в гребневой зоне до 1300 мм. На южных Туркестанском и Алайском хребтах, которые более высокие, но ориентированы касательно к влагонесущим потокам, увеличение осадков также значительно, но меньше - до 850 мм. Видно, что отражены и небольшие суммы осадков в замкнутой Алайской долине (250-400 мм). Все это хорошо согласуется с работами [1,2]. Так, согласно карте П.Н. Пономаренко, на склонах хребтов северного и восточного горного обрамления Ферганы многолетние значения годовых осадков находятся в диапазоне 300 – 1200 мм, а на хребтах южного обрамления в диапазоне 250 – 800 мм. По карте В.А. Кузьмиченка [3] многолетние значения годовых осадков по склонам хребтов возрастают в пределах от 200 до 1400 мм.

Во ВТШ среднегодовые суммы осадков, приведенные по уравнениям регрессий, увеличивались с высотой по склонам хребтов от 250 – 350 мм в среднегорных и высокогорных котловинах до 600 мм в гребневой зоне хребтов. Это несколько меньше, чем по карте П.Н. Пономаренко (максимум до 900 мм) и осо-

бенно В.А. Кузьмиченка (максимум до 1000 – 1200 мм). Возможно такие погрешности спутниковых данных могут быть объяснены здесь крайне неоднородной орографией и наличием резкой границы в подстилающей поверхности – «склоны, покрытые снегом и льдом – склоны без снежного покрова», влияющими на спутниковый сигнал [5]. Можно надеяться, что в ближайшем будущем в спутниковых моделях удастся исправить этот недостаток.

Приведение годовых сумм осадков по общему уравнению регрессии существенно не улучшило спутниковые данные для высокогорной и нивальной зоны ВТШ, скорее всего из-за того, что эти высотные пояса практически не освещены данными открыто расположенных склоновых метеостанций (все станции находятся в орографически защищенных котловинах). В связи с этим, во ВТШ для высот более 4 км были использованы значимые уравнения регрессии для всего Кыргызстана, для высотной зоны более 2,5 км [9]. Также в результаты расчетов была дополнительно введена средняя квадратическая ошибка регрессии со знаком плюс, что соответствует правилам математической статистики (поскольку используемая регрессия получена по данным метеостанций находящихся и на меньшей высоте). Это позволит дополнительно учесть факт увеличения осадков выше уровня 4 км, что не отражается, расположенными ниже котловинными и долинными метеостанциями. После подобного приведения существенно улучшилось поле осадков для ВТШ. Так, в восточной части провинции для высот более 4 км наблюдается в диапазоне 500-850 мм/год, такое пространственное и количественное распределение осадков хорошо соответствует картам Пономаренко П.Н. [1,2].

Таким образом, для приведенных годовых сумм осадков можно сделать следующий вывод: для ССЗК и ЮЗК климатических провинций, включающие наветренные периферийные хребты, распределение приведенных спутниковых и фактических наземных данных, имеет высокую степень согласования. В ИКК и ВТШ данные согласуются несколько хуже, но вполне удовлетворительно.

В заключение на рис. 3. приведем 4 карты построенных нами приведенных спутниковых сумм осадков по сезонам для периода 01.1998 – 02.2014 гг. Они получены по уравнениям регрессии для отдельных климатических провинций Кыргызстана. Как видно, эти карты достаточно хорошо отражают те же основные закономерности в территориальном распределении осадков по Кыргызстану, что и подробно проанализированная годовая карта.

Так, по сезонам картина распределения осадков Кыргызстана выглядит следующим образом: зимой осадков выпадает мало от 300 мм в его крайней западной части, до менее 20 мм во ВТШ. Весной и осенью, в связи со сменой синоптических процессов и активизацией фронтальных систем, осадков выпадает значительно больше, особенно хорошо увлажненными оказываются передовые горные хребты, здесь суммы осадков за сезон достигают 350 мм, тогда как внутренние горные области Кыргызстана (ИКК, ВТШ) получают меньшее количество осадков – от 40 до 200 мм. Летом осадков выпадает также довольно много (до 350 мм), чаще уже за счет локальных конвективных процессов, однако зоны увлажнения пространственно смещаются по сравнению с другими сезонами. Так, отчетливо видно, что во ВТШ, пик осадков приходится на летний сезон, в связи с обостряющимися днем холодными фронтами второго рода, что также хорошо отражается на полученных нами картах.

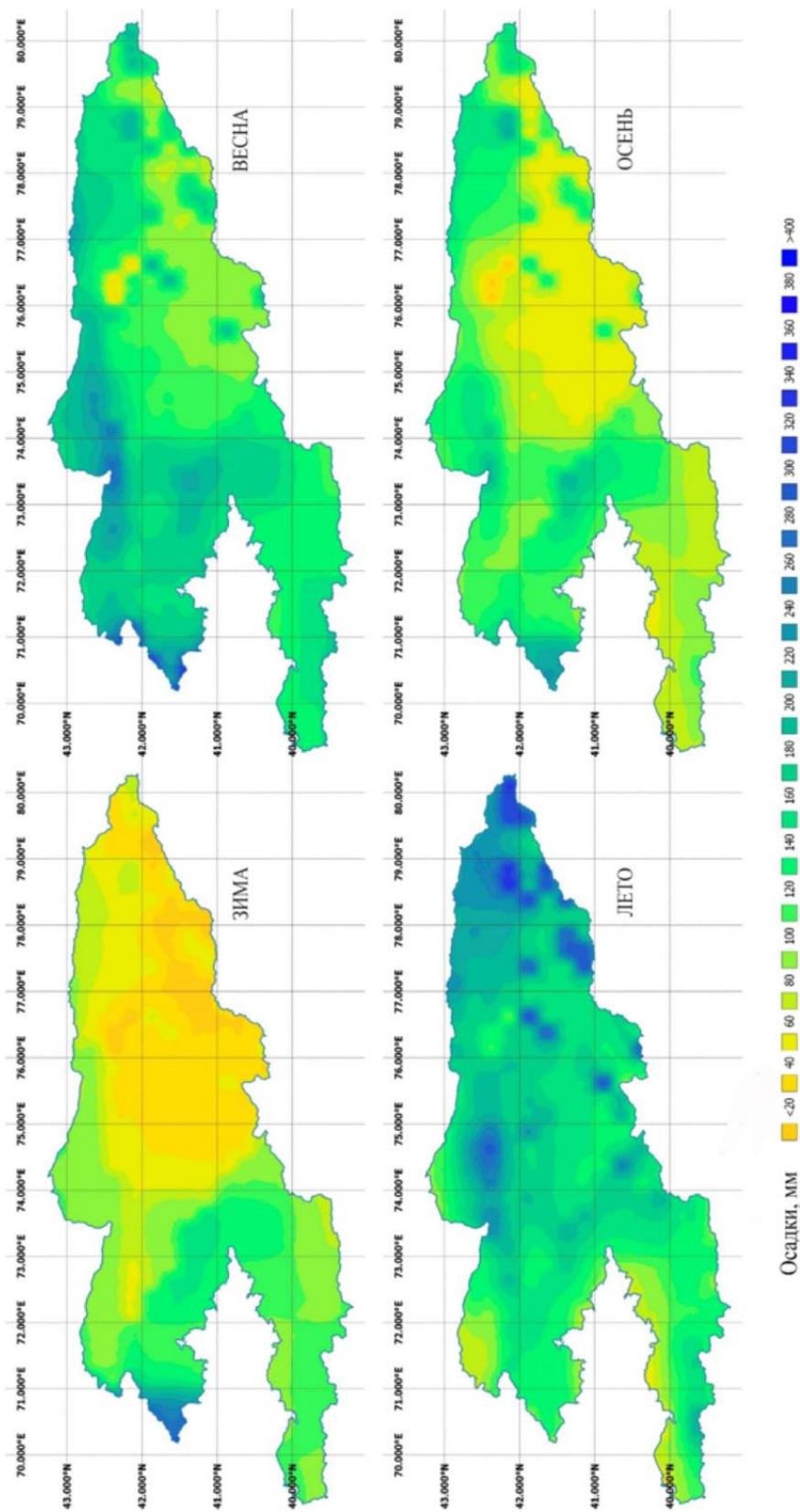


Рис. 3. Карты средних за сезон сумм осадков для Кыргызстана за период январь 1998 - февраль 2014 г. после приведения исходных спутниковых данных к показаниям метеостанций.

Осадки достигают своих максимальных значений для этой провинции летом – порядка 290 мм, особенно велики суммы осадков в крайней восточной части провинции, характеризующейся наличием обширной зоны оледенения (горный массив Ак-Шийрак и районы пика Хан-Тенгри). При этом долинные части ЮЗК и СЗК получают летом очень низкие суммы осадков (140 мм и менее). Все приведенные сезонные карты осадков имеют хорошее согласование с многолетними климатическими данными [1-3]. На них корректно отражены сезонные пики и минимумы осадков по всем климатическим провинциям Кыргызстана

### **Выводы**

1. Таким образом, разработанная методика использования спутниковых данных по осадкам для сложной горной территории Кыргызстана, построенные на ее основе карты приведенных годовых и сезонных сумм осадков за период 01.1998 – 02.2014 гг. хорошо отражают реальную картину пространственного распределения осадков по этой территории.

2. Результаты согласуются с полученными ранее картами, полученными разными авторами по многолетним наземным данным метеостанций. Это означает, что предлагаемые методические подходы и получаемые по ним результаты по использованию спутниковых сумм осадков могут эффективно использоваться на практике для решения различных задач прикладной климатологии Кыргызстана. Одновременно предлагаемая методика может также быть использована для аналогичных разработок по другим горным регионам.

### **Используемая литература**

1. Атлас Киргизской ССР. Том 1. Природные условия и ресурсы. – М.: ГУГК СССР, 1987. – 157 с.
2. Пономаренко, П.Н. Атмосферные осадки Киргизии [Текст] /П.Н. Пономаренко /под ред. О.А. Дроздова. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 134с.
3. Кузьмичёнок, В.А. Цифровые модели характеристик увлажнения Кыргызстана (Математико-картографическое моделирование) [Текст] / В.А. Кузьмичёнок. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2008. – 229 с.
4. Национальное Авиационное и Космическое Агентство (NASA) [Электронный ресурс]: архив данных о наблюдениях Земли. - Режим доступа: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#> – Загл. с экрана
5. Karaseva, M. O. Validation of high-resolution TRMM-3B43 precipitation product using rain gauge measurements over Kyrgyzstan [Text] / M. O. Karaseva, S. Prakash, R. M. Gairola // J. Theoretical and Applied Climatology, 2011. –№ 108. – P. 147–157. DOI: 10.1007/s00704-011-0509-6.
6. Рыскаль, М.О. Валидация данных по осадкам, получаемых по данным мульти спутниковой модели TMPA для горной территории Кыргызстана [Текст] / О.А. Подрезов, М.О. Рыскаль // Географический вестник = Geographical bulletin, 2019. – №1(48). - С. 63–74. DOI: 10.17072/2079-7877-2019-1-63-74.
7. Рыскаль, М.О. Оценка годовых и сезонных сумм осадков, полученных по мультиспутниковой модели TRMM для горных районов Кыргызстана [Текст] / М.О. Рыскаль // Вестник КРСУ. – 2018. Том 18. – № 12. – С. 141–145.
8. Рыскаль, М.О. Статистические связи и зависимости годовых и сезонных сумм осадков, получаемых по мульти спутниковой модели TMPA и наземным данным метеостанций для различных климатических провинций Кыргызстана [Текст] / О.А. Подрезов, М.О. Рыскаль // Электронный журнал ВАК КР. Научные исследования в Кыргызской Республике, 2018, 3 квартал. – С.10–20.
9. Рыскаль, М.О. Статистические связи и зависимости сумм осадков, получаемых по спутниковым и наземным данным для различных высотных зон Кыргызстана/ М.О. Рыскаль. // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, 2018. – №. 10. – С. 29–38.



## РИСКИ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ СВЯЗАННЫЕ С ДЕГЛЯЦИАЦИЕЙ (ПАМИР)

*Саидов М. С., Фазылов А. Р., Саидов С. М.*

## NATURAL DISASTER RISKS ASSOCIATED WITH DEGLACIATION (PAMIR)

*Saidov M.S., Fazylov A.R., Saidov S.M.*

**Аннотация.** В статье проводится сравнительная оценка существующих теорий причины и механизма ледниковых подвижек. Основное внимание уделено рекомендуемым мероприятиям по снижению риска прорыва гляциального озера Абдукахор. К возможным вариантам снижения уровня воды в озере может быть способ опорожнения по сифонному трубчатому водосбросному сооружению. Другим способом решения данной проблемы может быть устройство трубчатого водосбросного сооружения с открытым водоприемным устройством. Предложены два метода снижения угроз от прорыва горных озер.

**Ключевые слова:** ледник, угроза, прорыв, потепления, озеро, баланс, абляция, лед, плотина, сток, вода, климат, речные долины, паводки, сели, потоки.

**Annotation.** The article provides a comparative assessment of existing theories of the cause and mechanism of glacial movements. The main attention is paid to the recommended measures to reduce the risk of a breakthrough of the glacial lake Abdukahor. Possible options for lowering the water level in the lake may be a method of emptying a siphon tubular spillway. Another way to solve this problem may be the device of a tubular spillway with an open water intake device. Two methods for mitigating the threats from breaking mountain lakes are proposed.

**Key words:** glacier, hazard, breakthrough, warming, lake, balance, ablation, ice, dam, runoff, water, climate, river valleys, floods, mudflows, streams.

**Введение.** «Ледники отличаются друг от друга по размерам, наклону и скорости течения. Поэтому можно ожидать, что различные ледники реагируют на изменение климата по-разному или, по крайней мере, с различной быстротой. Климатические колебания сказываются на поведении ледников не только через изменение их баланса массы – долгопериодические колебания климата могут изменить температуру льда и тем самым изменить скорость течения. Однако влияние этого фактора невелико» [1].

**Методы исследований.** Дистанционные и наземные полевые исследования. Использование ГИС, при моделировании прорывоопасности. Картирование.

**Результаты исследований.** Подвижки ледников привлекали и привлекают к себе внимания, прежде всего из-за вызываемых ими катастрофических последствий. Наступая, ледник перегораживает речные долины, образуя при этом подпрудные озера, прорыв которых сопровождается разрушительным паводком, приводящие к угрозам катастрофического характера в региональном масштабе. На территории Республики Таджикистан (РТ) насчитывается 542 прорывоопасных озер гляциального происхождения [2], располагаемые как на теле ледника, так и в его краевых частях. Но наиболее опасными являются ледниковые озера, переполнение которых ведет к их прорыву и, как следствие образованию селей. К сожалению, в виду отсутствия данных об объемах воды в них, оценка степени их опасности не проводилась. Примером паводка, вызванного прорывом гляциального озера, приведшего к катастрофическим последствиям, является образовавшийся прорыв (7 августа 2002 года), гляциального озера, в Даштдаре на Западном Памире. Прорывная волна вызвала крупный селевой поток объемом в 1,2 млн. м<sup>3</sup> осадков, полностью разрушивший горный населенный пункт Дашт и послужил причиной гибели 24 чел. Сегодня процесс глобального потепления приводит не только к образованию ледниковых озер, но и к повышению границы вечной мерзлоты, являющаяся

причиной высвобождения большого объема рыхлообломочного материала, ранее удерживаемых льдом. Данный материал может быть вовлечен в процесс переноса масс в виде селевых потоков или в виде медленных склоновых перемещений, оползней, способствующие формированию естественных неустойчивых плотин и перекрытия русел рек, а обрушение этих масс в озера под воздействием внешних факторов, например, землетрясения может привести к образованию паводков с катастрофическими последствиями. Именно такая ситуация возникла вследствие Хаитского землетрясения в 1949 г., получивший статус сейсмической катастрофы, унесшей жизни свыше 32 000 чел. [3].

При этом обвал горных пород упавший в озеро и похоронивший под 70-метровой толщей каменной массы райцентр Хаит практически со всеми его жителями, перекрыл реку, а накопившийся объем воды, размыв плотину вторично пронеслась катастрофическим селем.

#### **Существующие гипотезы (понимания) о пульсирующих ледниках.**

Большое количество ледников Таджикистана в результате подвижек создавали и, несомненно, еще будут создавать определенные трудности в освоение горных территорий. Согласно карте «Современное оледенение», составленной с применением космоснимков и входящей в атлас «Природные ресурсы Таджикской ССР», изданный в 1984 г., в РТ насчитывается 61 пульсирующих ледников [4].

Наибольшее их число сосредоточено в системе ледника Федченко и в верховьях р. Обихингоу, а наиболее изученными являются ледники Медвежий и Русского географического общества (РГО) в верховьях р. Ванч на Памире. Начавшееся в связи с освоением горных территорий систематическое изучение ледников показало, что некоторые ледники могут внезапно наступать на большие расстояния. Например, ледник Медвежий при подвижках 1963, 1973 и 1989 гг. продвинулся по долине р. Ванч на 1,5 км, перегородив р. Абдукахор мощной ледяной плотиной, достигающей в высоту 150 м с объемом образовавшего водоема 20 млн. м<sup>3</sup>.

В.И. Рацек в своей работе «Об одной из возможных причин ледниковых подвижек» [5], высказал предположение, что катастрофические подвижки ледников вызваны устойчивым отступлением ледниковых языков. Нарушение равновесия ледниковой системы происходит в результате сокращения массы языка в результате таяния. Лед под действием силы тяжести соскальзывает со склонов на дно долины и выталкивает вперед укоротившийся язык.

Объясняя подвижки ледника Медвежьего отдельные исследователи [6,7] высказывали предположение о лавинообразном выбросе огромных масс фирна и льда из области питания через ледопад. Л.Д. Долгушин и Г.Б. Осипова Г.Б. [7] основываясь на детальном анализе результатов многочисленных исследований, утверждают, что в распространение пульсирующих ледников отсутствует связь с типом климата, рельефом, морфологией ледников, сейсмичностью территории, вулканизмом, уклоном ложа, порогами на ложе. Исходя из этого, можно предположить, что пульсации ледников порождаются совокупностью различных факторов в тесном их взаимодействии.

Некоторые гипотезы связывают пульсации ледников с превышением напряжения в них над пределом прочности льда. К.Ф. Войтковский [8] предполагает, что при значительном напряжении сдвига начинается прогрессирующее течение, которое может привести к нарушению сплошности льда. Рост внутренних деформаций в свою очередь приводит к уменьшению сопротивления льда сдвигу.

Из-за способности льда к пластическим и хрупким деформациям, невозможно прогнозировать, как он поведёт себя при изменении климатических условий. Поэтому судить об изменении климата по поведению пульсирующих ледников, на

наш взгляд, также не корректно. Связь между ледниками и климатом гораздо сложнее, чем, кажется на первый взгляд. Периодичность пульсаций также не имеет закономерностей. Неизвестна также их связь с изменениями климата.

Пульсация может возникать как при оледенении, так и при его деградации. В одном и том же бассейне могут присутствовать как пульсирующие ледники, так и неппульсирующие. Движение ледника полностью зависит от его баланса массы и уклона его ложа. Для определения текущего поведения ледника необходимо иметь данные по его балансу массы за несколько сотен лет. К сожалению, подобных данных нет ни для одного ледника. В некоторых случаях баланс массы ледника можно вычислить по данным о положении его концов (конечно-моренных комплексов).

По мнению Патерсона У.С.Б. *подстройка большинства ледников под изменившийся баланс массы может продолжаться несколько сотен лет* [1].

Таким образом, можно предположить, что пульсации ледников многофакторный процесс, порожденный совокупностью различных факторов в тесном их взаимодействии и, являются закономерным выражением неустойчивости динамических условий, возникающих в самих ледниковых системах. Любой ледник, обладающий достаточной массой, при определённых условиях имеет способность и тенденцию к движению, а изменения климата может изменить температуру льда и тем самым изменить скорость течения, однако не будет являться доминирующим фактором.

**Рекомендации по защите народнохозяйственных объектов и населения Ванчской долины от неблагоприятных последствий пульсаций ледников РГО и Медвежьего.** Дамбы, возникшие в результате подпруживания долин ледником, недолговечны, и, как правило, размываются очень быстро. Проблема безопасности периодически образовавшихся озер на р. Абдукахор из-за пульсаций ледников Медвежий и РГО изучалась в течение долгих лет.

Но, с сожалением следует констатировать факт наличия пробелов и несоответствий в имеющейся информации и ясно, что угроза населению, проживающему вниз по течению, чрезвычайно высока, и снижение риска требует принятия следующих действий: проектирование и установка системы мониторинга и системы раннего оповещения с целью снижения угрозы населению до возможного минимума; предварительное изучение долгосрочных решений с целью сведения к минимуму вероятности прорыва (меры по снижению риска, связанного с понижением уровня озера); применение превентивных мер по понижению уровня воды в озере посредством его спуска.

Анализ снижения риска показывает, что принятие структурных мер может быть оправдано преимуществами снижения риска связанных с дегляциацией даже при самом пессимистичном прогнозе вероятности прорыва и ущерба от наводнения. Эти меры могут быть оправданы спасенными десятками тысяч человеческих жизни. Существуют две основных категорий долгосрочных решений: меры, разработанные с целью уменьшить опасность прорыва или перехлеста озера из ледникового завала – структурные меры; меры, разработанные с целью уменьшить последствия такой катастрофы.

**Анализ рекомендуемых предложений по снижению риска.** Основываясь на данных баланса языка ледника Медвежьего по годам (ежегодный положительный баланс активной части языка ледника составляет около 20 млн. м<sup>3</sup>), Соколов Л.Н. и др. [9] пришли к заключению, что причиной периодических пульсаций ледника является нарушение приходно-расходного равновесия в его системе. Он считал, что для установления динамического равновесия, баланс этой зоны нужно уменьшить на 20 млн. м<sup>3</sup>. Им было предложено три пути уменьшения баланса:

1. За счет усиления оттока льда в нижерасположенную зону, что практически не реализуемо.

2. За счет увеличения абляции в активной части языка (в высотной зоне 3400-4000 м). Средний годовой объем таяния в этой зоне равен 20,3 млн. м<sup>3</sup>.

Критически рассматривая эту идею, следует отметить, что предложенный способ усиления таяния - запыление поверхности ледника - не даст в данном случае желаемого эффекта. Способ основан на уменьшении альбедо и, следовательно, увеличении радиационного баланса.

3. Баланс языка считает Соколов Л.Н. [9], может быть уменьшен за счет уменьшения притока льда из фирнового бассейна. Этот путь, на его взгляд, кажется наиболее рациональным.

Здесь автор ссылается на выводах Бажева А.Б., который в 1965 г. [10] проводил опыты по искусственному запылению снега в области питания ледника Медвежьего. В качестве запылителя он использовал каменноугольный шлак фракции 0,2-0,5 мм. Результаты опытов позволили сделать вывод, что при норме расхода запылителя 50 г/м дополнительный объем таяния с фирновой области в течение июля и августа составит 24 млн. м<sup>3</sup> талой воды, что увеличит сток с ледника (при коэффициенте стока 0,9) на 21,5 млн. м<sup>3</sup> воды.

Таким образом, сток твердого вещества из области питания на язык уменьшится, что приведет к установлению нулевого баланса в высотной зоне 3400-4000 м. По расчетам Бажева общий расход шлака для запыления всей фирновой области составит 900 тонн. Ради справедливости отметим, что авторы признают, что, это заключение ни в коем случае не является категоричным, так как взаимосвязь элементов режима ледника настолько сложны, что любое нарушение одной из них может привести к качественным преобразованиям ледниковой системы в целом.

Ряд исследователей рассматривали также инженерные мероприятия, в том числе сброс воды через искусственный туннель, пробитый в отроге хребта, разделяющем долины рек Абдукахор и Дустироз. Впервые эта идея была высказана В.А. Ецковым и поддержана Л.Д. Долгушиным. Долина р. Абдукахор расположена гипсометрически выше, чем долина р. Дустироз. Морфологические особенности долины р. Дустироз не благоприятствуют образованию в ней озера большого объема, несмотря на то, что устье долины р. Дустироз также перекрывалось ледником при подвижках 1963 и 1973 гг., объем периодически возникающего озера никогда не превышал нескольких сот м<sup>3</sup>, а сток р. Дустироз не прекращался. Предлагаемый вариант не лишен ряда отрицательных моментов.

Во-первых, строительство туннеля, это дорогостоящее мероприятие.

Во-вторых, не известно, насколько дальше может продвинуться язык ледника. Если язык ледника продвинется еще на несколько сот метров дальше отметки 1963, 1973 гг., то на пути стока р. Дустироз, образуется мощная ледяная плотина, которая будет сдерживать сток р. Дустироз и отток воды из туннеля.

## Выводы

1. Решение проблемы. В зависимости от морфометрических характеристик озер, строения озерных перемычек, разрушение которых естественным путем может привести к формированию катастрофических селей, применяются различные способы опорожнения селеопасных водоемов: прокладка водосбросных лотков; прокладка нагревательных электрических элементов (тросы); пионерные каналы в ледяных плотинах; бурение скважин и т.д. [11, 12].

2. Одним из возможных путей понижения уровня воды в озере, на р. Абдукахор, образовавшегося в следствие подпруживания языковой частью ледника Медвежий является проведение превентивных работ по его опорожнению. При этом, необходимо провести предварительные обследования и разработать комплекс мероприятий по опорожнению озера, с установлением безопасной отметки уровня

воды в озере, принимаемая в последствие в качестве расчетной отметки для сброса излишней воды из озера.

3. Одним из возможных вариантов реализации данного решения может быть способ опорожнения по сифонному трубчатому водосбросному сооружению. Другим способом решения данной проблемы может быть устройство трубчатого водосбросного сооружения с открытым водоприемным устройством.

4. В обоих случаях, трасса железобетонных труб должна быть проложена в пойме, параллельно руслу р. Абдукахор на глубине от 2-х до 3-х метров от поверхности земли, с водоприемными устройствами непосредственно в акватории озера, а сбросное сооружение необходимо устраивать ниже непосредственно ниже завала. Расчет сбросного сооружения должен быть осуществлен для безнапорного режима истечения в трубе.

5. Результатом настоящих исследований может быть сброс всего стока р. Абдукахор из озера с отклонением и сбросом в реку Ванч, ниже плотины, позволяющее исключить возникновения риска образования наводнений и разрушительных селевых потоков.

### Литература

1. Патерсон У.С.Б. Физика ледников. М., «Мир», 1984. - 471с.
2. Ищук Н.Р., Саидов М.С. Динамика ледников Таджикистана за голоценовый период [Текст] / Н.Р. Ищук, М.С. Саидов // Наука и инновация (научный журнал). Серия естественных наук. Материалы международной научно-практической конференции «Климатические изменения и гидроресурсы Центральной Азии». №1. Душанбе: Сино, 2017. – С. 77-84.
3. Саидов М.С., Шакиржанова Г. Приращение сейсмичности в связи с вероятностью возникновения катастрофических обвально-оползневых последствий землетрясений [Текст] / М.С. Саидов, Г.Н. Шакиржанова // Тр. Межд. конф. по снижению сейсмического риска, посвященной шестидесятилетию со дня Хаитского землетрясения 1949 года в Таджикистане, Душанбе 9-11 июля 2009 г. Душанбе, 2009. - С. 214-225.
4. Атлас «Природные ресурсы Таджикской ССР». Современное оледенение. М., ГУГК, 1984, 7 листов.
5. Рацек В.И. Об одной из возможных причин ледниковых подвижек. В сб.: Материалы гляциол. исслед. (МГГ). Хроника, обсуждения, вып.24, М.,1974. – С. 107-109.
6. Чучкалов Б.С. О причинах движения ледника Медвежьего. Метеорология и гидрология, №9, 1963. – С. 46-48
7. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Новые данные о пульсациях современных ледников. В сб.: Материалы гляциол. исслед. (МГГ). Хроника, обсуждения, вып. 18, М., 1971. – С. 191-218.
8. Войтковский К.Ф. О механизме пульсаций ледников. В сб.: Материалы гляциол. исслед. (МГГ). Хроника, обсуждения, вып. 21, М., 1972. – С. 47-53.
9. Соколов Л.Н. Исследование пульсирующих ледников Таджикистана. Деп. в «Отдел охраны и рационального использования природных ресурсов» АН РТ. – 153 с.
10. Бажев А.Б. Закономерности таяния искусственно заполненной поверхности ледника. В сб.: Материалы гляциол. исслед. (МГГ). Хроника, обсуждения, вып. 21, М., 1973. – С. 124-135.
11. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: В 4-х томах. – Алматы, 2014. Т.3. Степанов Б.С., Яфарова Р.К. Селевые процессы и селетехнические сооружения. – 2014.- С. 299.
12. Фазылов, А.Р. Гидротехнические мероприятия и регулирование селей в условиях изменения климата [Текст] / А.Р. Фазылов, В.А. Фазылов // Вестник Донского государственного аграрного университета. – Ростовская область: ДонГАУ, 2017. -№2 (24.1) - часть 1. – С. 105-112.

**РОЛЬ СНЕЖНЫХ ЛАВИН В ПИТАНИИ ГОРНЫХ ЛЕДНИКОВ**  
*Турчанинова А.С., Башкова Е.И., Лазарев А.В., Петраков Д.А.*

**THE ROLE OF SNOW AVALANCHES IN THE FOOD OF MOUNTAIN GLACIERS**  
*Turchaninova A.S., Bashkova E.I., Lazarev A.V., Petrakov D.A.*

**Абстракт:** В работе выполнена количественная оценка лавинного питания ряда ледников Внутреннего Тянь-Шаня и Кавказа. На основе предложенного подхода в результате моделирования лавин восстановлены поля лавинной аккумуляции на исследуемых ледниках без проведения детальных снегомерных съемок. Выдвинута гипотеза о том, что баланс массы ледников с доминирующим вкладом лавинного питания в условиях потепления климата может оставаться более положительным, чем у ледников без значимого лавинного питания. В условиях изменяющегося климата ледники с доминирующим вкладом лавинного питания могут находиться в стабильном состоянии или даже переходить в наступание при самых благоприятных условиях.

**Ключевые слова:** ледник, снежная лавина, лавинное питание, математическое моделирование, снегозапасы, баланс масс, сокращение объема, сток рек.

**Abstract:** A quantitative assessment of the avalanche nutrition of a number of glaciers of the Inner Tien Shan and the Caucasus is performed. Based on the proposed approach, avalanche accumulation fields on the studied glaciers were restored as a result of avalanche modeling without carrying out detailed snow surveys. A hypothesis has been put forward that the mass balance of glaciers with the dominant contribution of avalanche nutrition under conditions of climate warming may remain more positive than that of glaciers without significant avalanche nutrition. In a changing climate, glaciers with a dominant contribution of avalanche nutrition can be in a stable state or even go on the offensive under the most favorable conditions.

**Key words:** glacier, snow avalanche, avalanche nutrition, mathematical modeling, snow reserves, mass balance, volume reduction, river flow.

**Введение.** Ледники с дополнительным питанием за счет лавинного снега широко распространены в Центральной Азии и многих других горных районах. Современный этап характеризуется отступанием ледников и сокращением их объема. В связи с этим особенно остро встает проблема изменения ледников и их баланса массы в аридных районах Центральной Азии, где таяние ледников является важным компонентом стока рек. Определение лавинного питания является крупной нерешенной проблемой в оценке баланса массы горных ледников, решение которой имеет как научное, так и прикладное значение в области оценки колебаний ледников, их реакции на климат, формирования речного стока. Под лавинным питанием ледника понимается количество снега, вынесенного лавинами на поверхность ледника из-за его пределов. Доля лавинного питания представляет отношение количества лавинного снега к снегозапасам на теле ледника [1].

Выделен особый туркестанский тип ледников [2], широко распространённый в горах Центральной Азии, питание которого происходит в основном за счет снежных лавин. Несмотря на то, что некоторые ледники практически полностью обязаны своему существованию снежным лавинам, измерений лавинной аккумуляции на ледниках производилось крайне мало, что связано с опасностью проведения полевых работ в зонах лавинной аккумуляции. До сих пор в основном преобладают качественные суждения: от констатации полного отсутствия лавинного питания на ледниках с положительными формами рельефа до утверждения о господстве этого

источника снега на ледниках туркестанского типа. Количественные оценки ограничены отдельными ледниками. Так, на леднике Абрамова (Алайский хребет) лавинное питание в среднем составляет 7% от снегозапасов [3].

На репрезентативном для Центрального Кавказа леднике Джанкуат доля лавинного питания варьирует от 1,8 до 10,0% (по фактическим данным за 15 сезонов) [4].

Вопрос оценки роли снежных лавин в питании ледников остается открытым и актуальным, особенно для ледников Центральной Азии и многих других районов, на которых ведутся наблюдения за составляющими баланса массы.

**Целью работы** являлась количественная оценка роли снежных лавин в питании горных ледников, расположенных в разных горных районах, на основе разработанной авторами методики. Для достижения цели работы были проведены полевые исследования во Внутреннем Тянь-Шане и на Центральном Кавказе на нескольких ледниках, а также использован комплекс камеральных методов: дешифрирование космических снимков; дешифрирование снимков, полученных с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и камеры слежения; геоинформационное картографирование; математическое моделирование снежных лавин в программе RAMMS.

**Районы исследования.** В качестве объектов исследования на данном этапе работы был выбран ряд ледников: три ледника (Западный Суёк, №354 и Карабаткак), расположенные во Внутреннем Тянь-Шане, и один ледник (Колка), расположенный на Центральном Кавказе.

Ледник №354 (площадь 6,4 км<sup>2</sup>, здесь и далее по данным <https://wgms.ch/> на 2016 г.) расположен в пределах юго-западной части массива Ак-Шыйрак, ледник Западный Суёк (площадь 1,1 км<sup>2</sup>) — на хребте Джетимбель, ледник Карабаткак (площадь 2,5 км<sup>2</sup>) — на хребте Терской Ала-Тоо. Ледники относятся к типичным для района исследования ледникам долин, выбор которых обусловлен наличием данных масс-балансовых наблюдений, что делает возможным расчёт доли лавинного питания в общем бюджете их аккумуляции. Годовые значения баланса массы рассмотренных ледников в последние годы, рассчитанные по фактическим данным, отрицательные [5, 6, <https://wgms.ch/>].

Карово-долинный ледник Колка (площадь 1,12 км<sup>2</sup>, Петраков и др., 2018), расположенный в бассейне р. Геналдон на Центральном Кавказе, известен катастрофическими событиями – масштабными подвижками и ледниковыми обвалами. Восстановление Колки идет на фоне неблагоприятных для оледенения Кавказа погодных условий и резко контрастирует с поведением других кавказских ледников, испытывающих быстрое сокращение [7].

Атмосферные осадки в приходной части баланса массы практически не играют роли – в зимний период снег сдувается с ледника вниз по долине [8].

Значительную долю приходной части баланса массы ледника Колка составляет лавинное питание [9].

По оценкам К.П. Рототаева, в 1970-е гг. доля лавинного питания на леднике Колка составляла 80% [8].

Быстрые темпы восстановления ледника могут привести к набору критической массы, которая влечёт за собой повторение предыдущих катастрофических событий. Именно поэтому важно оценить роль снежных лавин в восстановлении ледника Колка.

**Материалы, используемые в работе.** Работа основана на полевых материалах авторов, полученных на Тянь-Шане и Кавказе; данных дешифрирования космических снимков и снимков, полученных с помощью: БПЛА (для ледников Западный Суек и Колка); автоматической перспективной камеры, установленной на г.

Шау-хох в июле 2017 года (для ледника Колка). В основу анализа рельефа и климата положены: цифровые модели рельефа (ЦМР), полученные как из открытых источников (<https://www.eorc.jaxa.jp>; <https://nsidc.org>), так и в ходе полевых работ с помощью БПЛА и наземной стереоскопической съёмки; ЦМР, созданные по стереопарам космических снимков [10, 7]; статистическая обработка метеорологической информации с метеостанций Кумтор Тянь-Шань и Кызыл-Суу (ранее Чон-Кызылсу); а также литературные источники, посвященные рельефу и климату Внутреннего Тянь-Шаня и Центрального Кавказа. В основу изучения особенностей оледенения и лавинообразования районов исследования положены: данные WGMS (World Glacier Monitoring Service, <https://wgms.ch/>); данные каталога GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space, <https://www.glims.org/>); фактические сведения о лавинной активности районов исследования, опубликованные в виде монографий, статей и карт.

Наблюдения за лавинами, как правило, не охватывают труднодоступные ледниковые районы, где лавины не представляют опасности для людей, но могут служить дополнительным источником питания ледников. В связи с этим в основу разработки системы получения данных о лавинах и количестве перенесенного ими снега на поверхность ледников для оценки их лавинного питания без проведения детальных снегомерных съемок был положен анализ основных факторов формирования лавин: рельефа и климата.

**Методика исследования.** Разработанная ранее авторским коллективом методика [11] представляет собой последовательное выполнение следующих действий (рис.1): (1) анализ рельефа; (2) анализ данных метеорологических наблюдений; (3) оценка объемов снежных лавин в заданный балансый год; (4) математическое моделирование снежных лавин; (5) оценка доли лавинного питания в зимнем балансе массы ледника.



Рис. 1. Методика оценки доли лавинного питания в зимнем балансе массы ледника

Рельеф является одним из важнейших постоянных факторов лавинообразования. Он влияет на форму, размеры и распределение в пространстве зон зарождения снежных лавин, определяет динамику и объем лавин. Для оценки количества

снега, перенесенного лавинами на исследуемые ледники, в первую очередь, были выявлены лавиноопасные склоны и лавинные очаги. Современные инструменты пространственного анализа позволяют использовать ЦМР в качестве исходных данных как для трёхмерного моделирования территорий, так и для создания производных моделей: лавиносборов, сетей водоразделов и потенциальных лавинных очагов, а также вычисления морфометрических параметров, характеризующих распределение лавинной аккумуляции. ЦМР являются основными исходными данными для моделирования динамики лавин и получения информации об их пространственном распространении, а также количестве и характеристиках лавинных отложений.

Для выделения зон зарождения лавин разной повторяемости на Тянь-Шане разработан скрипт [11] на языке программирования Python (представлен в виде инструмента геообработки ArcGIS), который в автоматическом режиме выполняет анализ ЦМР на предмет соответствия значений ячеек производных от ЦМР растров (уклона и экспозиции) интервалам значений матрицы из работы [12] и присваивает ячейкам выходного раstra новые значения повторяемости лавин. Разработанный скрипт является первым шагом на пути создания пакета автоматизированных инструментов для оценки лавинной активности на Тянь-Шане и оценки лавинного питания расположенных там ледников разных морфологических типов. Для выделения зон зарождения лавин ежегодной повторяемости в районе ледника Колка на Кавказе использован метод экспертной оценки, основанный на визуальном анализе: производных от ЦМР растров морфометрических характеристик рельефа (уклона и экспозиции); результатов дешифрирования разновременных ДДЗЗ. На основе предложенного в работе подхода становится возможным получение представлений о повторяемости лавин в зонах их зарождения, где никогда не проводились детальные наблюдения за снежными лавинами.

Для оценки количества снега, вынесенного лавинами на исследуемые ледники, выполнен статистический анализ данных с удаленных метеостанций, а также проанализированы региональные зависимости изменения снеготпасов или высоты снежного покрова в зависимости от абсолютной высоты, полученные ранее для районов исследования и их аналогов. На основе предложенного в работе подхода становится возможным получение представлений о высоте снежного покрова в реконструированных зонах зарождения лавин. В перспективе возможно использование данных дистанционного зондирования для анализа высоты снежного покрова, к примеру, доработка и применение инструмента MODSNOW [13], основанного на ежедневном анализе данных MODIS (Terra и Aqua).

Полученные данные о пространственных границах лавинных очагов и высоте снежного покрова в них положены в основу оценки объемов снежных лавин и массы перенесенного ими снега на поверхность исследуемых ледников. Оценка объемов лавинного снега, поступающего непосредственно на поверхность ледников (т. к. часть лавинных отложений может оставаться за их пределами), а также оценка надежности получаемых результатов выполнены с использованием программы RAMMS. В основе программы RAMMS [14, 15] лежит двумерная модель, позволяющая моделировать снежные лавины с разной площадью и высотой обрушающегося пласта снега, а также движение лавин в условиях трехмерного рельефа. В работах [15, 16] установлено, что программа RAMMS может быть использована для моделирования лавин на Кавказе и Тянь-Шане без изменения предложенных в модели значений коэффициентов трения. В основу расчета доли лавинного питания в зимнем балансе массы ледников Тянь-Шаня положены данные о: зимнем балансе массы ледников; рассчитанных в работе вероятных суммарных объемах лавинного снега, вынесенного на ледники. В основу оценки роли лавин в питании ледника Колка положены данные из работ [7, 17].

**Полученные результаты.** На основе результатов моделирования восстановлены поля лавинной аккумуляции на всех исследуемых ледниках без проведения детальных снегомерных съемок в труднодоступных зонах лавинной аккумуляции. Сравнение результатов моделирования и дешифрирования снимков с БПЛА (для ледника Западный Суек) и автоматической камеры слежения (для ледника Колка) показало, что реконструированные в RAMMS пространственные границы лавинных отложений сопоставимы с фактическими.

Установлено [11], что объём снега, перенесенного лавинами на исследуемые ледники в 2015/2016 гг. (средний по снежности) составил: Западный Суёк — от 39 до 78 тыс. м<sup>3</sup>; №354 — от 127 до 254 тыс. м<sup>3</sup>; Карабаткак — от 329 до 657 тыс. м<sup>3</sup>. Доля лавинного питания в зимнем балансе массы исследуемых ледников в 2015/2016 гг. представлена на рисунке 2.

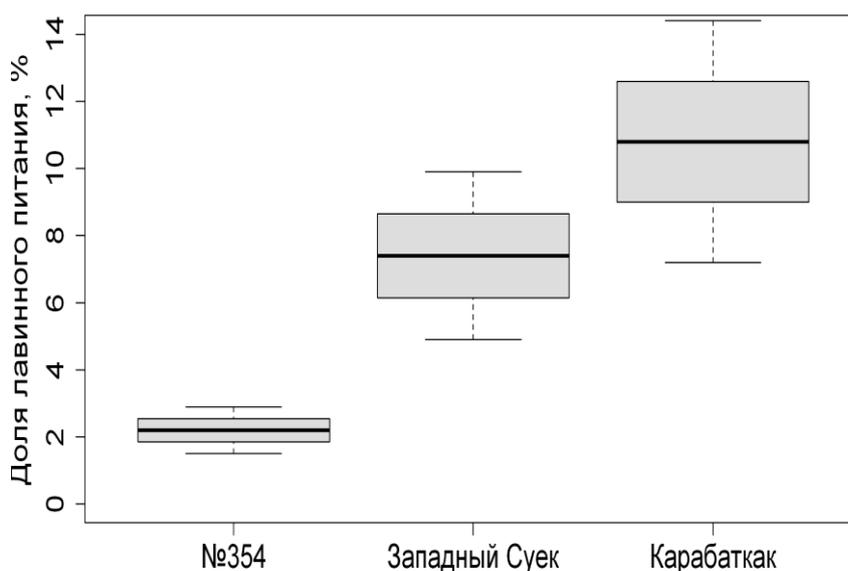


Рис. 2. Доля лавинного питания в зимнем балансе массы исследованных ледников Внутреннего Тянь-Шаня в 2015/2016 гг.

Для исследованных в работе ледников Внутреннего Тянь-Шаня, окружённых склонами с небольшими перепадами высот и значительной долей фирново-ледяной облицовки (Западный Суек и №354), полученные значения лавинной аккумуляции сопоставимы с погрешностями вычисления зимнего баланса массы ледников [5, 6] и лавины не играют определяющей роли в их питании.

Однако для других ледников Тянь-Шаня роль снежных лавин в питании может быть иной, а ее количественная оценка может быть выполнена на основе предложенного в работе подхода.

Установлено, что за зиму средней снежности на поверхность ледника Колка может быть вынесено до 7,5 млн м<sup>3</sup> снега, что согласуется с данными из работы [17], согласно которым объём ледника в период с 2014 по 2017 г. увеличился на 7,4±0,7 млн м<sup>3</sup> льда. Таким образом, в настоящей работе подтверждается гипотеза о том, что лавинное питание играет определяющую роль в приходной составляющей баланса массы и восстановлении ледника Колка.

## Заключение

1. На основе полученных результатов можно предположить, что в условиях изменяющегося климата ледники с доминирующим вкладом лавинного питания могут находиться в стабильном состоянии или даже переходить в наступание (при самых благоприятных условиях). К примеру, ледник Донгуз-Орун, полностью расположенный ниже снеговой линии и окруженный удобными для формирования лавин склонами, находится в стабильном состоянии [18] и выделяется на фоне общей деградации Кавказа. На расположенном поблизости леднике Джанкуат среднее значение доли лавинного питания составляет 4,7% [4], при этом ледник в последние годы активно деградирует [19].

2. Ускоряющаяся деградация отмечается на ледниках Эльбруса [20] и массива Ак-Шыйрак [10] с малым вкладом лавинного питания. Скорость деградации ледников в районе пика Победы существенно ниже [21], что может объясняться, в том числе, и большей ролью лавинного питания в их бюджете. На Каракоруме выявлена меньшая чувствительность отклика ледников туркестанского типа к изменению температуры [22].

3. Отметим, что высокая повторяемость снежных лавин способствует разрастанию моренного чехла и, в отдельных случаях, полному перекрытию ледника мореной, что приводит к снижению абляции.

4. Результаты работы подтверждают актуальность дальнейшего исследования вклада лавин в питание ледников Кавказа и Центральной Азии в условиях изменяющегося климата.

5. Развитие дистанционных методов исследования и подхода, предложенного в настоящей работе, позволяет выполнить оценку лавинного питания ледников без проведения прямых наблюдений на труднодоступных ледниках, особенно в опасных зонах лавинной аккумуляции.

6. Результаты подобных исследований в перспективе могут быть полезны для оценки влияния лавин на годовой ход стока горных рек, что особенно актуально для района Центральной Азии. Разработанный скрипт на языке программирования Python может быть использован для оценки лавинной опасности при проведении снеголавинных изысканий на Тянь-Шане.

Исследование выполнено в рамках грантов РФФИ: № 18-35-00419 (оценка лавинного питания ледников); грант 18-05-00520 (сбор и анализ фактических материалов по леднику Колка).

## Список литературы

1. Посев К. С. Роль лавин в бюджете массы ледников // Материалы 3-ей Закавказской научной конференции по изучению снежного покрова, снежных лавин и горных ледников Кавказа (Труды Закавказского научно-исследовательского гидрометеорологического института, вып. 20) / Цомая В.Ш. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. С. 178–182.
2. Гляциологический словарь. Под ред. В. М. Котлякова. - Л.: Гидрометеоиздат, 1984. - 527 с.
3. Ледник Абрамова. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. - 206 с.
4. Поповнин В.В., Сергиевская Я.Е. Об обратной связи доли лавинного питания с аккумуляцией ледника // Лёд и Снег. 2018. Т. 58. № 4. С. 437–447. doi: 10.15356/2076-6734-2018-4-437-447.
5. R., Barandun M., Kronenberg M., Chen Y., Usubaliev R., Hoelzle M. Mass balance observations and reconstruction for Batysh Sook Glacier, Tien Shan, from 2004 to 2016 // Cold Regions Science and Technology. 2017. 135. P. 76–79. doi: 10.1016/j.coldregions.2016.12.007.
6. Kronenberg M., Barandun M., Hoelzle M., Huss M., Farinotti D., Azisov E., Usubaliev R., Gafurov A., Petrakov D., Kääh A. Mass-balance reconstruction for Glacier No. 354, Tien Shan, from 2003 to 2014 // Annals of Glaciology. 2016. 57(71). P. 92–101. doi: 10.3189/2016AoG71A032.

7. Петраков Д.А., Аристов К.А., Алейников А.А., Бойко Е.С., Дробышев В.Н., Коваленко Н.В., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Быстрое восстановление ледника Колка (Кавказ) после гляциальной катастрофы 2002 года. // Криосфера Земли. 2018. т. XXII, № 1. С. 58–71. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-1(58-71)
8. Рототаев К.П. Исследование пульсирующего ледника Колка / К.П. Рототаев, В.Г. Ходаков, А.Н. Кренке. М., Наука, 1983, 169 с.
9. Котляков В.М. Кармадонская катастрофа: что случилось и чего ждать дальше / В.М. Котляков, О.В. Рототаева, Г.А. Носенко, Л.В. Десинов, Н.И. Осокин, Р.А. Чернов. М., Изд. Дом “Кодекс”, 2014, 184 с.
10. Petrakov, D., Shpuntova, A., Aleinikov, A., Kääh, A., Kutuzov, S., Lavrentiev, I., Stoffel M., Tutubalina O., Usabaliev R. (2016). Accelerated glacier shrinkage in the Ak-Shyirak massif, Inner Tien Shan, during 2003-2013. *Sci. Total Environ.* 562, 364–378. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.03.162
11. Турчанинова А.С., Лазарев А.В., Марченко Е.С., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Петраков Д.А., Барандун М., Кенжебаев Р., Сакс Т. Методика оценки лавинного питания (на примере трех ледников Тянь-Шаня) // Лед и снег. 2019. В печати.
12. Харитонов Г.Г. Методика расчёта лавинного питания ледника // МГИ. 1979. Вып. 36. С. 155–159.
13. Gafurov, A., Lüdtkе, S., Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Schöne T., Schmidt S., Kalashnikova O., Merz B. MODSNOW-Tool: an operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data. *Environ Earth Sci* (2016) 75: 1078. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5869-x>
14. Bartelt P., Bühler Y., Christen M., Deubelbeiss Y., Salz M., Schneider M., Schumacher L. RAMMS::AVALANCHE User Manual. V 1.7.0. Davos: SLF, 2017. iii+97 P.
15. Турчанинова А.С., Селиверстов Ю.Г., Глазовская Т.Г. Моделирование снежных лавин в программе RAMMS в России // ГеоРиск. 2015. № 4. С.42–47.
16. Semakova E., Safronov V., Mamaraimov A., Nurtaev B., Semakov D., Bühler Y. Applying numerical snow avalanche simulations for hazard assessment in the Kamchik pass area, Uzbekistan // *Proceedings, International Snow Science Workshop (ISSW), Innsbruck, Austria, 2018.* Innsbruck: ISSW, 2018. P. 701–704.
17. Аристов К.А., Петраков Д.А., Коваленко Н.В., Тимонин С.А., Колчин А.А., Дробышев В.Н. Мониторинг ледника Колка в 2014–2017 гг. методом наземной стереофотосъёмки. Лёд и Снег. 2019;59(1):49-58. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-1-49-58>
18. Соломина О.Н., Бушуева И.С., Полумиева П.Д., Долгова Е.А., Докукин М.Д. История ледника Донгуз-Орун по биоиндикационным, историческим, картографическим источникам и данным дистанционного зондирования. Лёд и Снег. 2018;58(4):448-461. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-4-448-461>
19. Поповнин В.В., Петраков Д.А. Ледник Джанкуат за минувшие 34 года (1967/68–2000/01 гг.) // МГИ. 2005. Вып. 98. С. 167–174.
20. Kutuzov S, Lavrentiev I, Smirnov A, Nosenko G and Petrakov D (2019) Volume Changes of Elbrus Glaciers From 1997 to 2017. *Front. Earth Sci.* 7:153. doi: 10.3389/feart.2019.00153
21. Pieczonka, T., Bolch, T., 2015. Region-wide glacier mass budgets and area changes for the Central Tien Shan between 1975 and 1999 using Hexagon KH-9 imagery. *Glob. Planet. Chang.* 128, 1–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.11.014>.
22. Dobрева I.D., Bishop M.P., Bush A.B.G. Climate–Glacier Dynamics and Topographic Forcing in the Karakoram Himalaya: Concepts, Issues and Research Directions. *Water* 2017, 9, 405; doi:10.3390/w9060405



**ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАСОЛЕННОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА  
В АХАНГАРАНСКОЙ ДОЛИНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ERDAS IMAGINE**  
*Умарова З.М., Ташматов К.А.*

**SOIL SALINIZATION AS SIGN FOR MAPPING HYDROGEOLOGICAL OBJECTS**  
*Umarova Z.M., Tashmatov K.A.*

**Аннотация:** В статье освещено засоление на побережье р. Ахангаран, влияние подземных вод на деградацию почв, засоления как признак картирования гидрогеологических объектов с применением геодезии и аэро-космических данных. Сброс рудничных вод из штольневых горизонтов рудников, Кочбулак, одноименные саи и инфильтрацией из гидроотстойников Ангреновского разреза, приводит к загрязнению подземных вод правой прибортовой части Ангреновского участка. На участке от сел. Камар до г. Алмалык загрязнение подземных вод связано с орошением земель в пределах верхних террас, с поступлением загрязненных подземных вод, поступающих по аллювиальным отложениям Саукбулакская и древней поймы Накпайская, т.к. засыпана отвалами карьеров Кургашикан, а также выклиниванием подземных вод Палеозоя со стороны Ширабадских гор.

**Ключевые слова:** засоление, река, деградация почв, геодезия, аэро-космические данные, подземные воды, мониторинг, NDSI.

**Abstract:** In the article lit up salinization on the coast of the river Akhangaran, the effect of groundwater on soil degradation, salinization as a sign of hydrogeological objects using geodesy and remote sensing. The discharge of mine waters from the adit horizons of the mines, Kochbulak, the same name sais and infiltration from the hydraulic sumps of the Angren section, leads to the pollution of underground waters of the right instrument part of the Angren section. On a site from the villages. Kamar to the city of Almalyk, groundwater pollution is associated with irrigation of land within the upper terraces, with the input of contaminated groundwater coming from the alluvial deposits of Saukbulaksay and the ancient Nakpaysay floodplain, because covered with dumps of Kurgashinkan quarries, as well as wedging out of the Paleozoic underground waters from the Shirabad mountains.

**Key words:** salinization, river, soil degradation geodesy, remote sensing, data, groundwater, monitoring, NDSI.

**Введение.** Рассмотрены проблемы создания почвенного мониторинга, в том числе, мониторинга засоления орошаемых земель. Изложен опыт работ по дистанционному изучению засоленности почв полей хлопчатника, который может быть положен в основу создания мониторинга орошаемых земель других регионов. Определение уровня грунтовых вод лучше доверить специалистам в сфере геодезии. Они выполняют все необходимые изыскания и определяют не только глубину залегания грунтовых вод, но и химические, физические и механические свойства грунтов и их несущую способность.

**Методика.** Благодаря геодезии подобрать идеальное место для расположения скважины - реальная задача, ведь опираясь на геодезические данные можно с точностью определить точку, в которой подземные воды расположены ближе всего к верхнему почвенному покрову. Качество проведенные геодезические работы влияют и на качество напора и на качество воды. При картирование гидрогеологических объектов широко используется геодезические и аэро – космические данные потому что на сегодняшний день применения этих снимков является актуальным по всем параметрам. [1]

**Результаты исследований.** Ниже рассмотрены проблемы засоления орошаемых земель. Изложен опыт работ по дистанционному зондированию земли изучению засоленности почв, который может быть положен в основу создания мониторинга орошаемых земель других регионов с применением геодезии и данных ДЗЗ. Одной из признаков проявления подземных вод считается засоления почв так как в местах где подземные воды расположены близко к поверхности земли они выводят соли на поверхность.

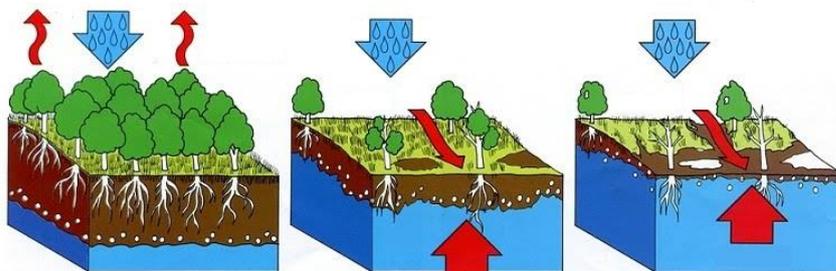


Рис. 1. Концептуальная модель влияние грунтовых вод на засоления почв.

Одной из актуальных задач генетического и мелиоративного почвоведения в аридных условиях является получение объективной информации о засоленных почвах, их свойствах, площадях распространения, динамике солевых процессов, без знания которых невозможно прогнозировать эволюцию этих почв, а также обосновывать методы их мелиорации. [2] Особенно важно оперативно и точно решать эти проблемы на орошаемых землях, где активно проявляются процессы соле-накопления.

Целью данной работы является подведение некоторого итога по состоянию изученности проблемы и определению задач, которые необходимо решить для создания действующей системы – мониторинга засоления орошаемых почв.

Мониторинг как научное направление в изучении природной среды стал развиваться с начала семидесятых годов прошлого века, что было обусловлено двумя причинами: 1) ухудшением экологической обстановки; 2) техническим прогрессом, способным обеспечить получение новых средств оперативного контроля состояния природной среды.

Дистанционное зондирование является важным вспомогательным средством в картировании и съемке засоленных почв. С помощью ДЗЗ можно проследить пространственную и временную изменчивость.

Бассейн р.Ахангаран, который входит в состав Ташкентской области, граничит с севера и северо-востока с западными отрогами Чаткала – Кураминского хребта, с юго-запада р.Сырдарья, с северо-запада - долиной р.Чирчик.

Территория отличается выгодным географическим положением, где локальными участками сосредоточены крупные промышленные предприятия, соседствуют районы орошаемого земледелия и пастбищного скотоводства. По Ахангаранской долине проходит основная Государственная транспортная магистраль в Ферганскую долину.

Долина реки Ахангаран имеет сложный рельеф. Геоморфологические положение района на стыке различных по своей геоморфологии горно-предгорные и равнинные территории обусловили значительное разнообразие климатических условий. Несмотря на резко выраженную континентальность климата, благодаря значительной амплитуде высот четко проявляется вертикальная климатическая зональность.

Основной водной артерией района является р. Ахангаран крупный правобережный приток Сырдарья, формирующегося в условиях высокогорья за счет снегов родникового питания. Водность бассейна находится в полной зависимости от его высотного положения и количества выпадающих атмосферных осадков.

Техногенно - измененные грунты занимают значительную площадь региона. К ним относятся природные грунты, среднее значение показателей физических и химических свойств изменено не менее чем на 15 %, а механических не менее чем на 30,5. В первую очередь это обводненные и просевшие массивы лессовых пород, грунты различного генезиса, претерпевшие деформацию в основании различных инженерных сооружений, выветренные природные образования в стенках котлованов, карьеров, берегах водохранилищ, а также осушенные, засоленные и рассоленные под воздействием сельскохозяйственной деятельности массивы грунтов. Своеобразные искусственные (насыпные) грунты в значительных объемах формируются на городских территориях. Образования их связаны с инженерно-строительной и хозяйственной деятельностью человека. Наибольшее распространение эти грунты имеют в древне заселенной части города (п.Аблык), а также центральных частях п.п.Карабаг, Саглам, где они сплошным покровом залегают на лессовых породах. Мощность насыпных отложений при этом 8-10 м, более мощные толщи этих грунтов встречаются в районах засыпки оврагов в долинах каналов - 17-19 м. Цитологический состав насыпки грунтов весьма пестрый - остатки глинобитных стен, обломки сырцового и обожженного кирпича, керамики, стекла, металла, зола и бытовой мусор. В качестве оснований для сооружений они являются непригодными. Как показала практика, здания, построенные на этих грунтах, были деформированы вследствие уплотнения грунтов оснований от веса сооружений и изменения режима влажности.

Таким образом, основными источниками формирования техногенных грунтов в Ахангаранском регионе является промышленность (горная, химическая, энергетическая, пищевая), строительство, городское хозяйство и аграрный комплекс. При этом генезис, масштабы и интенсивность накопления техногенных грунтов определяются видом инженерно -хозяйственной деятельности человека, технологии переработки природного вещества литосферы и протеканием различных процессов, происходящих под воздействием местных климатических факторов. Характерно для региона формирование, особенно в Левобережной части долины р. Ахангаран, почти всех типов антропогенного рельефа. Городской ландшафт развит в пределах городских территорий и населенных пунктов. Для него характерна почти полная перестройка первичного рельефа, почв, гидрографической сети, изменение режима и состава поверхностных и подземных вод и возведение сооружений различного назначения. Горнопромышленный ландшафт наиболее характерен для территорий разработки месторождений минерального сырья. Он характеризуется наличием как отрицательных (карьеры Ангренинский, Апартак и др.), так и положительных (отвалы, насыпи, хвостохранилища, свалки) форм рельефа. Этот тип ландшафта формируется за сравнительно короткий срок на значительных площадях. При этом помимо естественного рельефа сильно изменяются режим и состав поверхностных и подземных вод, растительный и животный мир. Так по степени опасности загрязнения отдельными компонентами согласно О`zDSt 950÷2011 «Вода питьевая» – компоненты хлора, сульфаты, нитраты и нитриты относятся к третьему классу опасности. В районе г.Ангрена загрязнение подземных вод и почвенного покрова происходит за счет поверхностных вод из Семгрансая и Гушсая, куда сбрасываются рудничные воды (водоотлив со штольневых горизонтов рудников Семгран и Кочбулак. Так если поверхностные воды Семгрансая при выходе ее в долину имеют минерализацию от 1,9г/л до 7,2г/л при общей жесткости от 21,0 мг-экв/л до 75,6мг-экв/л. На участке

междуречье Саукбулак и Накпай (левая прибортовая части водозаборов Сартамгалы и Куст-30) в загрязнение ПВ участвуют Саукбулаксай известковый карьер Ширабад, дрена Карасу, также Накпайсайские отвалы. Так, например, минерализация поверхностных вод выклинивающие из под отвалов засыпанных древнего русло Накпайсая изменялся минерализация от 7,92г/л (03.14г) до 12,45г/л 908.15г.) с общей жесткостью соответственно от 103мг-экв/л до 131,0мг-экв/л. Содержание сульфатов изменяется в пределах 5662-9473мг/л. натрия -1046-1398мг/л. Ниже приведена результат анализа данных ДЗЗ по объекту.

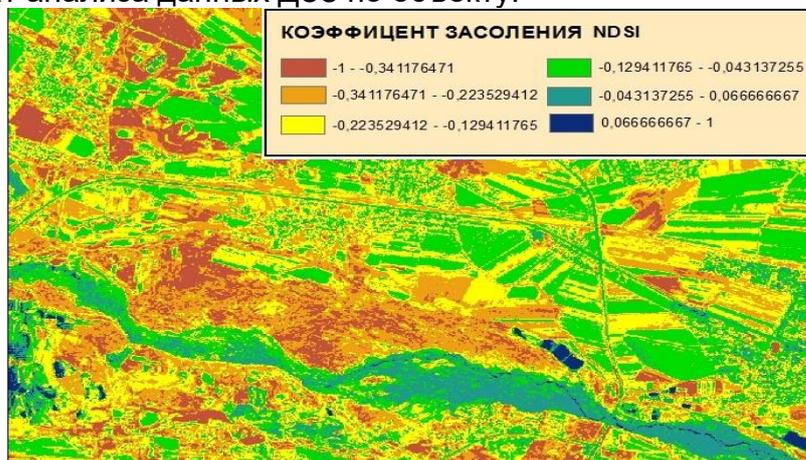


Рис. 2. Засоленные участки объекта, правый берег р. Ахангаран за счет подпитки речной водой

Формула для расчёта индекса засоления:

$$\text{NDSI} = (\text{R-NIR})/(\text{R+NIR}) [3,4]$$

### Выводы

1. При картировании гидрогеологических объектов, применение данных ДЗЗ весьма уместно и роль геодезических работ не стоит забывать, т.к. совместное использование данных дает достоверные результаты.

2. Загрязнение подземных вод правой прибортовой части Ангреновского участка связано со сбросом рудничных вод из штольневых горизонтов рудников, Кочбулак, одноименные саи и инфильтрацией из гидроотстойников Ангреновского разреза.

3. Загрязнение подземных вод на участке от сел. Камар до г.Алмалыка связано с орошением земель в пределах верхних террас, с поступлением загрязненных подземных вод, поступающих по аллювиальным отложениям Саукбулаксай и древней поймы Накпайсая, которая засыпана отвалами карьеров Кургашикан, а также выклиниванием подземных вод Палеозоя со стороны Ширабадских гор.

### Список литературы:

1. Мария Конюшкова «Цифровое картографирование почв солонцовых комплексов Северного Прикаспия» Москва, 2012 – с. 15-33
2. Шерматов М.Ш. «Гидрогеология и инженерная геология» - Ташкент 2005 – 116 -148 б.
3. Dr. Graciela Metternicht, Dr. Alfred Zinck «Remote Sensing of Soil Salinization: Impact on Land Management» page /273-275/
4. Rogers ME, Craig AD, et al. (2005). 'The potential for developing fodder plants for the salt-affected areas of southern and eastern Australia: an overview'. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 45 (4), page 301–329.

• • •

**РЕЖИМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДНИКА ЮЖНЫЙ  
ЕНЫЛЬЧЕК ПО СОСТОЯНИЮ НА 2018 ГОД.**

*Усубалиев Р.А., Осмонов А.Т., Азисов Э. А., Мандычев А.Н.,  
Шабунин А.Г., Калашникова О.Ю., Подрезова Ю.А.*

**MODE OF FUNCTIONING AND CHANGE OF THE SOUTHERN YENYCHEK GLACIER AS OF 2018.**

*Usubaliev R.A., Osmonov A.T., Azisov E.A., Mandychev A.N.,  
Shabunin A.G., Kalashnikova  
O.Yu., Podrezova Yu.A.*

**Аннотация:** Представлены результаты многолетнего изучения изменения климатических условий в районе ледника Южный Енылчек, изменения границ и толщины ледника, величины абляции и скорости движения поверхностного льда на основе полевых и дистанционных методов измерения параметров. В 88% случаев абляция на участке исследования находится в диапазоне 2-8 м/год. Изменения абляции за относительно короткий период выполненных наблюдений имеют кратковременный характер, не отражающий многолетнюю тенденцию. На поверхности ледника скорость движения льда находится в пределах диапазона значений полученных предшествующими исследованиями 0,2-0,5 м/день. Для выявления особенностей ее изменения во времени необходимы более детальные исследования.

**Ключевые слова:** климатические условия, ледник, абляция, абразия, дистанционные методы зондирования, космические снимки, площади оледенения.

**Abstract.** Results of long-term studying of change of climatic conditions around a glacier Southern Enylchek, changes of borders and thickness of a glacier, size of an ablyation and speed of the movement of surface ice on the basis of field and remote-sensing methods of measurement of parameters are presented. In 88% of cases, ablation at the study site is in the range of 2-8 m / year. Changes in ablation for a relatively short period of observations are of a short-term nature, not reflecting a long-term trend. On the surface of the glacier, the speed of ice movement is within the range of 0.2-0.5 m / day obtained by previous studies. To identify the features of its change over time, more detailed studies are needed.

**Key words.** Climatic conditions, glacier, ablyation, abrasion, remote-sensing methods, space images, area of glaciation.

**Введение.** Среди ледниковых систем Центрального Тянь-Шаня, ледниковая система бассейна реки Енылчек является наиболее крупной не только в бассейне р. Сары-Джаз, но и во всем Тянь-Шане. Здесь находятся крупнейшие ледники – Южный и Северный Енылчек, площади которых только по основным стволам составляют, соответственно – 223,6 и 90,7 км<sup>2</sup> при длинах 60,5 и 32,8 км, соответственно [1]. При этом площадь только одного, основного, ствола ледника Южный Енылчек составляет почти четверть площади оледенения (23,6 %) бассейна реки Енылчек [2].

В условиях современного потепления климата, исследование режима крупных ледников таких, как Южный Енылчек с его особенной структурой ледовых потоков и ледниковым озером имени Мерцбахера является актуальным.

Ледник Южный Еныльчек (точка нахождения: N 42.165164°; E 79.862390°), как и все ледники Центральной Азии изменяется под влиянием климатических изменений. Целью данного исследования является выявление особенностей изменения ледника за длительный период как наземных, так и дистанционных наблюдений.

**Климатические условия.** Наблюдения за климатическими параметрами в районе ледника Еныльчек выполнялись на метеостанциях Кыргызгидромета, ближайшими из которых были метеостанции (МС) Койлю (2800 м н.у.м.), Уч-Кошкой (2844м н.у.м.) и действующая в настоящее время МС Чон-Ашу (2800 м н.у.м.), а в последнее десятилетие с помощью автоматических метеостанций (АМС) "MRZ1, 2" и "IceDam", установленных Центральным - Азиатским институтом прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ), Бишкек, Кыргызстан и Центром исследования Земли (ГФЗ), Потсдам, Германия, их расположение показано на рис.1.

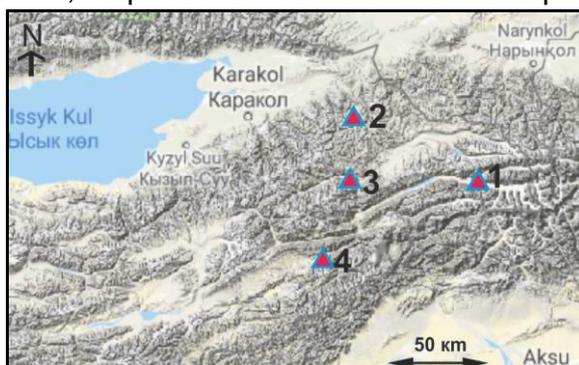


Рис.1 Метеостанции ЦАИИЗ и ГФЗ автоматические – 1 и Кыргызгидромета: 2-Чон-Ашу, 3- Койлю,4- Уч-Кошкой.

Наблюдения за климатическими параметрами с помощью автоматических метеостанций выполнялись и выполняются в непосредственной близости к леднику Южный Еныльчек и на леднике. Станции "MRZ1, 2"расположены, соответственно, на северном борту долины ледника Северный Еныльчек и на южном борту долины ледника Южный Еныльчек, станция "IceDam" располагается непосредственно на леднике Южный Еныльчек, вблизи северного участка его промежуточной разгрузки в озеро Мерцбахера (Рис. 2).

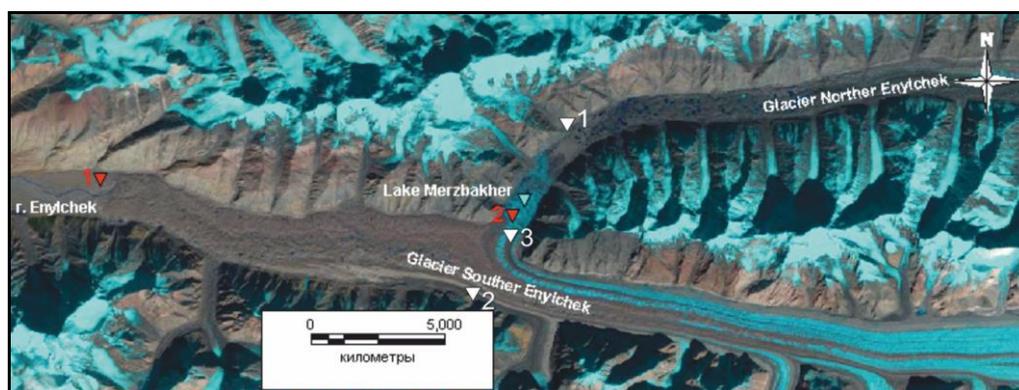


Рис.2 Ледники Южный и Северный Еныльчек и озеро Мерцбахера. Красные знаки: участки разгрузки языка ледника Южный Еныльчек, 1-западный окончательной, 2- северный промежуточной. Белые знаки: автоматические метеостанции, 1- "MRZ1", 2- "MRZ2", 3- "IceDam".

Многолетнее изменение температуры приземного слоя воздуха за период 1951-2005 год, по метеостанциям Койлю, Уч-Кошкой, Чон-Ашу, показано на рисунке 3.



Рис.3 Изменение температуры приземного слоя воздуха по метеостанциям Койлю, Уч-Кошкой, Чон-Ашу.

Как видно на рисунке 3, по МС Койлю, Уч-Кошкой не наблюдалось многолетнего тренда повышения температуры воздуха в период с 1951 по 1999 год, когда станции были закрыты. Данные по температуре воздуха по этим станциям свидетельствуют от высокой степени подобия условий формирования температур, что отражается в синхронности колебаний среднегодовых температур. В то же время по МС Чон-Ашу наблюдается явный тренд повышения температур, что указывает на существенное отличие условий формирования температур в месте расположения станции, в Иссык-Кульском бассейне.

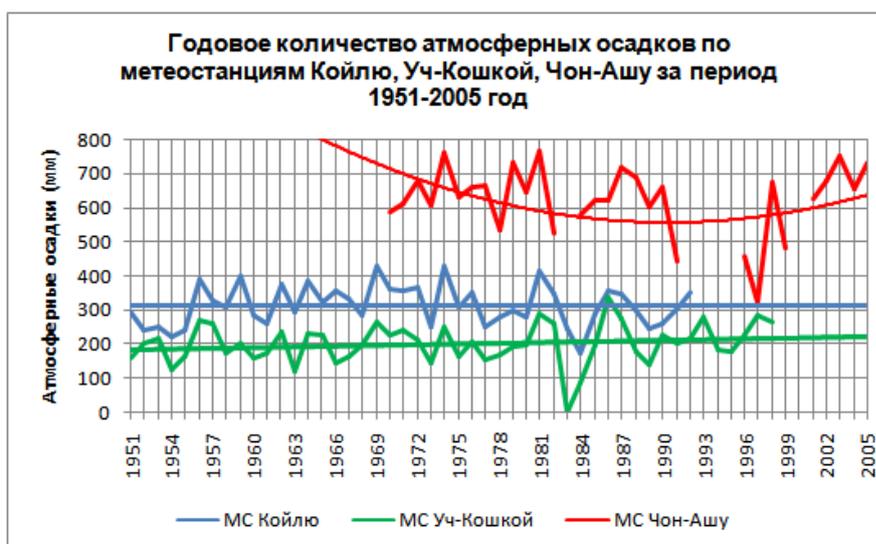


Рис.4 Изменение годовых атмосферных осадков по метеостанциям Койлю, Уч-Кошкой, Чон-Ашу.

Изменение годовых атмосферных осадков за период 1951-1999 год по метеостанциям Койлю, Уч-Кошкой, как видно на рисунке 4, так же имеет высокую степень синхронности и практически не обнаруживает определенной тенденции к повышению или понижению. Данные по МС Чон-Ашу значительно отличаются по характеру изменения и величине атмосферных осадков от этих двух станций. Таким образом, можно считать, что климатические условия в районе ледника Южный Еныльчек характеризуют МС Койлю, Уч-Кошкой и метеорологические данные по ним свидетельствуют об отсутствии в рассматриваемый период времени тенденции повышения температуры приземного слоя воздуха, что характерно для большинства районов Кыргызстана, а атмосферные осадки остаются относительно постоянными с небольшим трендом на повышение (МС Уч-Кошкой). Результаты измерений температуры приземного слоя воздуха на высоте 2 м по АМС "MRZ1, 2" и "IceDam" показаны на рисунке 5.

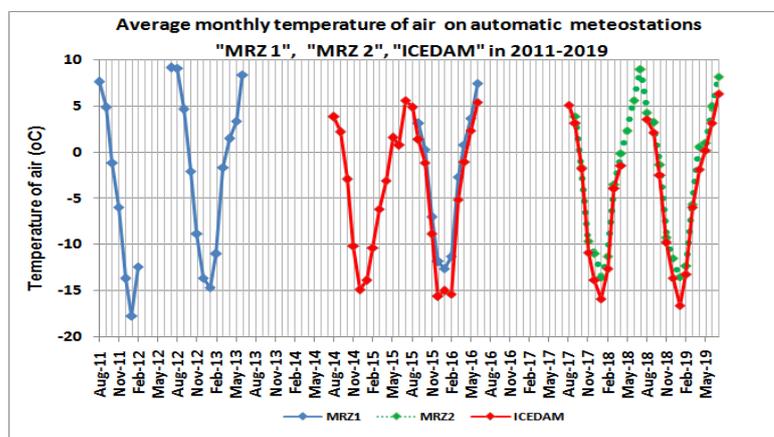


Рис.5 Средняя месячная температура приземного слоя воздуха по АМС "MRZ 1,2" и "IceDam" за период 2011-2019 год.

Как видно на рисунке 5, по участкам графиков, не имеющим технических пропусков, по АМС "MRZ 1,2" и "IceDam", температура приземного слоя воздуха в зимний период не имеет определенного тренда на повышение с 2012 по 2019 год, а по АМС "IceDam", даже имеет тренд на понижение зимних температур с 2014 по 2019 год. По летним температурам недостаточно корректных данных для объективной оценки тренда. Относительно низкие температуры воздуха по АМС "IceDam" обусловлены выхолаживающим воздействием льда, на котором станция расположена, в отличие от двух других станций, расположенных на грунте. Датчики температуры: АМС "MRZ 1" - HMP155: HMP 45 AC, АМС "MRZ 2"-WXT520.

Таким образом, по метеорологическим данным, полученным как на метеостанциях Кыргызгидромета, так и на АМС в районе ледника Южный Еныльчек за период с 1951 по 2019 год не наблюдается тренда повышения температуры воздуха, а атмосферные осадки в период 1951-1999 год имеют незначительный тренд на повышение.

**Изменение границ ледника.** Спецификой ледника Южный Еныльчек является наличие двух участков разгрузки льда на языке, расположенных на расстоянии порядка 15 км – северного активного промежуточной разгрузки и западного относительно пассивного окончательной разгрузки (Рис.2). Активный участок во фронтальной части имеет характер ледопада, который выгружает лед северного потока ледника во впадину периодически исчезающего прорывного подпрудного озера

Мерцбахера. Относительно пассивный участок, покрытый почти сплошным покровом моренных отложений, является продолжением южного потока языка ледника от меридиана озера Мерцбахера, движение льда в котором замедляется в западном направлении, так что в крайней западной части он представлен практически неподвижным (мёртвым) льдом. Из его фронтальной части берет начало река Еныльчек. Определение изменения положения границы западного пассивного участка или конца языка ледника Южный Еныльчек было выполнено на основе сравнения топографической карты масштаба 1:50000 с состоянием местности на 1981 -85 год с космическим снимком системы Corona от 1966 года и с космическим снимком спутника "Planet Scope" от 13/08/2018 с разрешением 3м/п (Planet Team (2018). Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth. San Francisco, CA. <https://api.planet.com>). На рисунке 6 видно, что за период с 1966 года по 2018 год в месте формирования русла реки Еныльчек произошло отступление до предполагаемой современной границы ледника на востоке, в основном за счет речной эрозии, на максимальное расстояние порядка 900 м, и минимальное порядка 200м, уменьшение площади ледника составило 0,88 км<sup>2</sup>.

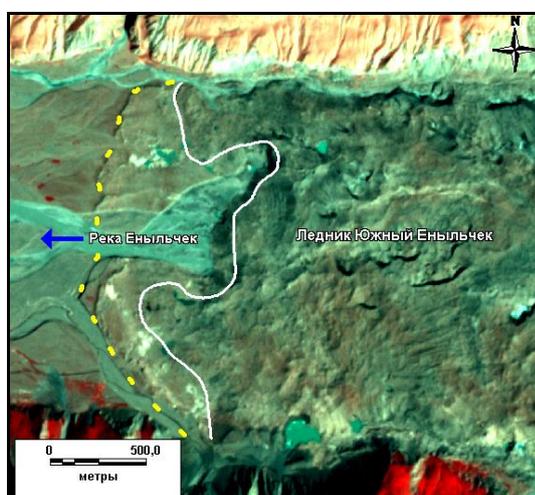


Рис.6 Конец языка ледника Южный Еныльчек. Желтая линия- граница ледника по состоянию на 1966, 1981-85 год. Белая линия- предполагаемая граница ледника на 2018 год.

В данном случае современная граница ледника и собственно ледового тела ледника определена по визуальным наблюдениям, в том числе на космических снимках высокого разрешения, на которых обнаруживаются характерный бугристый рельеф, термокарстовые воронки и провалы, деформационные трещины, обусловленные присутствием толщи льда и собственно лед в обнажениях деформационных форм рельефа (Рис.6). Западнее этой границы расположена террасовидная поверхность, которая и определена как площадь сокращения ледника с 1966 по 2018 год, где предположительно в моренных отложениях уже нет льда, толщина этих отложений порядка 10-20 метров относительно уровня поверхности долины реки Еныльчек, как это видно на профилях рельефа (Рис 7, 8, 9, 10, 11), полученных по цифровой модели рельефа SRTM 3. В восточном направлении от рассматриваемой границы происходит резкое увеличение толщины ледника, за счет наличия льда.



Рис. 7 Профили рельефа на конце языка ледника Южный Еныльчек, стрелками отмечены точки пересечения с предполагаемой современной границей ледника.



Рис. 8 Профиль 1

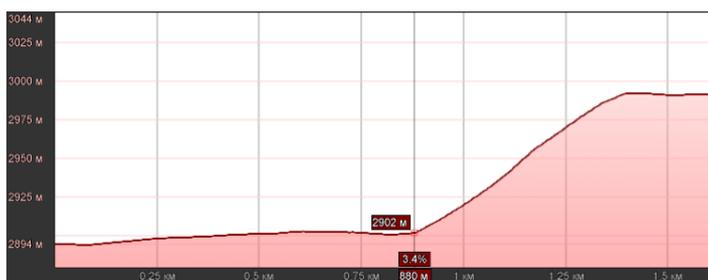


Рис. 9 Профиль 2



Рис. 10 Профиль 3

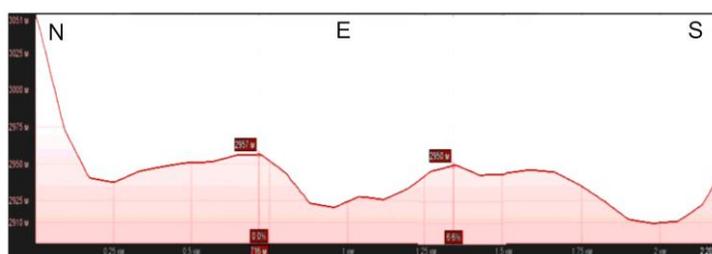


Рис. 11 Профиль 4

Дополнительным критерием для определения современной западной границы ледника Южный Еныльчек явилась температура поверхности конца языка,

полученная по данным термального инфракрасного канала 10, спутника "Landsat 8" от 25/10/2018. Как видно на рисунке 12, в долине ледника Южный Еныльчек и реки Еныльчек, берущей начало от западного края языка ледника наблюдаются две температурные зоны на поверхности земли и ледника. Одна более холодная расположена восточнее и другая менее холодная - западнее.

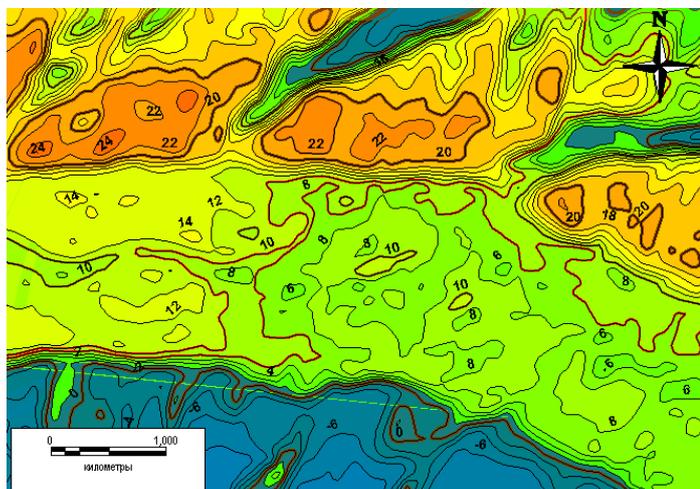


Рис. 12 Температура (°C) поверхности западного конца языка ледника Южный Еныльчек, долины реки Еныльчек и прилегающих горных склонов по данным термального канала спутника "Landsat 8" от 25/10/2018. Изотермы 8 и 10 °C выделены на рисунке красным цветом.

Граница между ними может быть проведена по изотермам 8 и 10 градусов Цельсия. Можно достаточно уверенно предполагать, что она соответствует границе речных отложений и ледового тела покрытого мореной. Точнее, граница ледового тела, вероятно соответствует изотерме 8 °C, изотермы 10 и 12 °C по меридиональному направлению соответствуют границе моренных отложений не содержащих льда. Таким образом, предполагается, что современная граница западного языка ледника Южный Еныльчек трассируется на его поверхности изотермой 8 °C (рис.13).

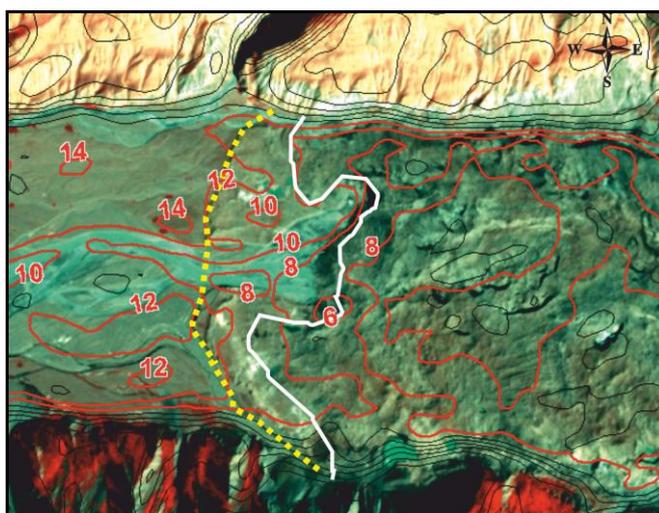


Рис.13 Соотношение границ ледника Южный Еныльчек и изотерм поверхности

Этот факт подтверждает, что на протяжении длительного времени, начиная, по нашим данным от 1966 года, западный конец язык ледника Южный Еныльчек

незначительно отступал в восточном направлении, деградируя, в основном, в средней части долины в результате размыва ледниковыми потоками воды, образующими реку Еныльчек.

Северный активный участок промежуточной разгрузки ледника, как отмечалось выше имеет во фронтальной части характер ледопада, который выгружает лед во впадину периодически исчезающего прорывного подпружного озера Мерцбахера (Рис. 14).

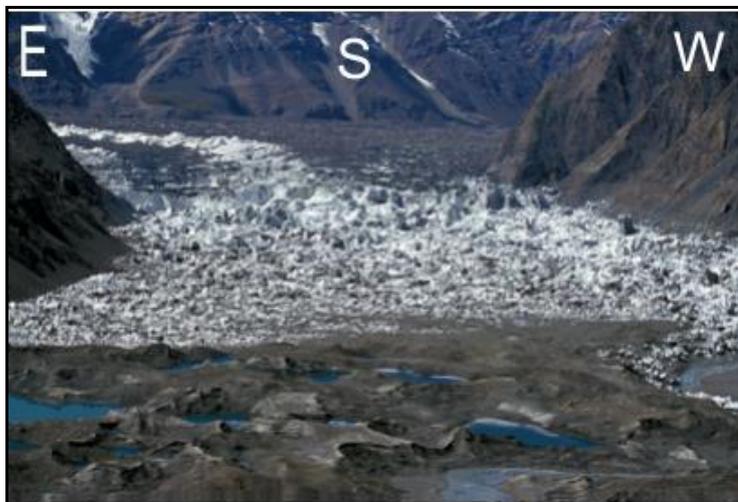


Рис. 14 Вид на участок промежуточной разгрузки ледника Южный Еныльчек и впадину озера Мерцбахера.

Фактически этот участок ледника Южный Еныльчек представляет собой вскрытую на протяжении около 1 км, устьевой частью долины ледника Северный Еныльчек, северную боковую поверхность ледника Южный Еныльчек, которая и образует поток разгружающегося льда в сторону гипсометрически ниже расположенной впадины озера Мерцбахера (рис.15, 16).



Рис. 15 Северный участок промежуточной разгрузки ледника Южный Еныльчек в озеро Мерцбахера. Стрелки синие- направление движения северного потока льда, желтые - южного потока. Пунктирная линия - граница между потоками.



Рис.16 Профиль по DEM SRTM3 вдоль участка разгрузки (см.рис.15). Синяя пунктирная линия- предполагаемая боковая и нижняя граница ледника.

На рисунке 16 хорошо видна точка гребня ледораздела с абсолютной отметкой 3394 м, от которой потоки льда приобретают северную и южную составляющие скорости движения. Северный участок разгрузки перекрывая устье долины ледника Северный Еныйльчек играет роль естественной ледовой плотины для талых вод ледников и воды атмосферных осадков. Эта плотина имеет меняющуюся проницаемость для воды и при минимальной происходит накопление воды с образованием озера Мерцбахера. Как правило, это происходит в конце теплого периода года и при максимальном уровне озера происходит вплытие ледового массива, запирающего устье долины с отрывом блоков льда от скального основания и раскрытием трещин между блоками льда. Факт периодического подъема поверхности льда был установлен ранее [3] и наблюдается в настоящее время по измерениям альтитуды поверхности ледника прибором спутникового позиционирования станции "IceDam". В результате этого происходит относительно кратковременный сток с расходами до 1000 м<sup>3</sup>/сек в западном направлении по внутриледовым каналам и трещинам западной части языка ледника Южный Еныйльчек. Обычно это сопровождается полным опорожнением впадины озера Мерцбахера и исчезновением озера. В зависимости от характера деформаций в ледовом массиве, объема накопленной воды наблюдаются разные варианты по времени и числу прорывов воды и степени сокращения объема озера.

Положение северной границы северного участка промежуточной разгрузки в разные годы показано на рис. 17.

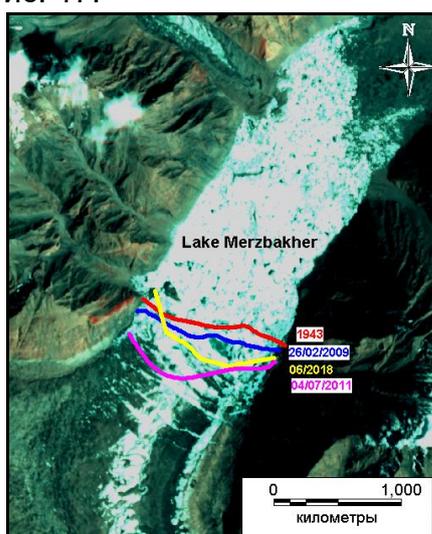


Рис. 17. Границы ледника по северному активному участку промежуточной разгрузки с 1943 по 2018 год.

Границы ледника получены по аэрофотоснимку 1943 года, снимкам спутников "Spot 4" от 26/02/2009, "RapidEye" от 04/07/2011, "Planet Scope" от 06/2018.

Как видно на рисунке 17 положение этой границы ледника нестабильное и изменяется в диапазоне около 500 м в зависимости от расхода потока льда, наличия или отсутствия озера, характера деформации потока льда. Граница 1943 года соответствует наиболее высокому положению поверхности ледника и его толщины по имеющимся наблюдениям, о чем подробнее будет сказано далее. Определенной тенденции отступления ледника здесь не наблюдается.

**Изменения толщины льда ледника.** О более высоком уровне льда и соответственно большей его толщине в прошлом, свидетельствует, наблюдающаяся по северному склону долины ледника Южный Еныйльчек абразионная полоса протяженностью около 29 км от области питания на востоке до области окончательной разгрузки на западе. Она образована трением движущегося льда о горные породы склона долины (Рис. 18).

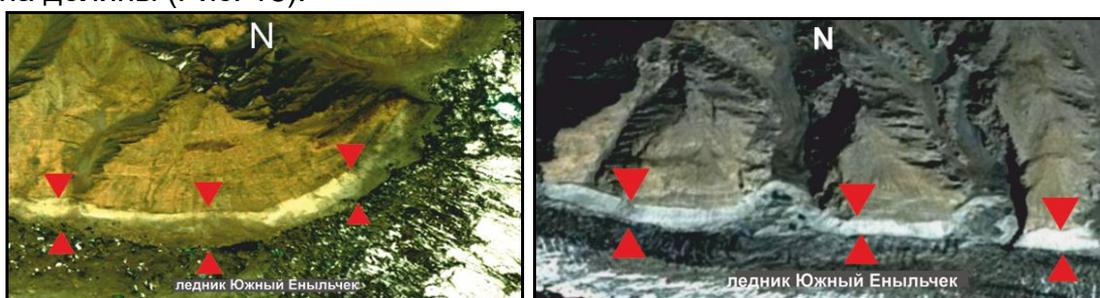


Рис. 18. Фрагменты абразионной полосы на северном склоне долины ледника Южный Еныйльчек восточнее и западнее северного участка разгрузки по космическим снимкам 2009 и 2018 года

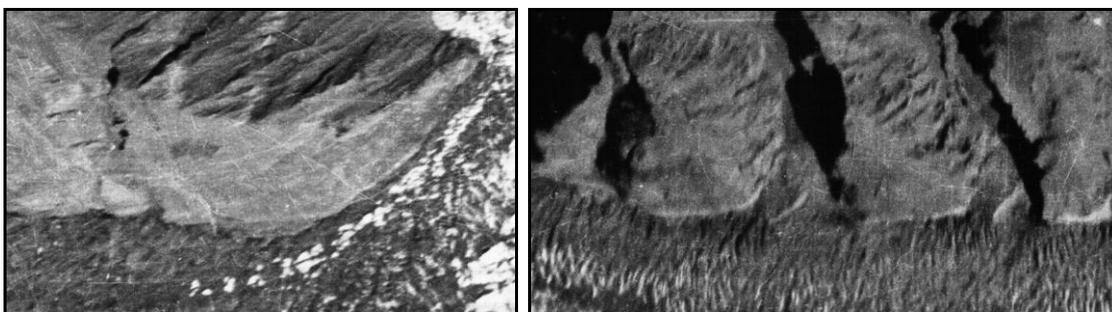


Рис. 19. Фрагменты северного склона долины ледника Южный Еныйльчек по аэрофотоснимку 1943 года при положении поверхности ледника на уровне верхней границы абразионной полосы.

Определение высоты этой полосы абразии относительно современного уровня льда ледника по его северной границе и до верхней ее границы было выполнено по космическому снимку высокого разрешения "Spot 4" от 2009 года и цифровой модели рельефа SRTM3 от 2000 года. Ряд измерений вдоль полосы абразии на протяжении 29 км показан на рисунке 20. По этим измерениям медиана высоты полосы абразии равна 34 м. Единичные максимальные и минимальные значения высоты полосы абразии связаны с особенностями рельефа в точке измерения и нечеткой границей между ледником и склоном долины.

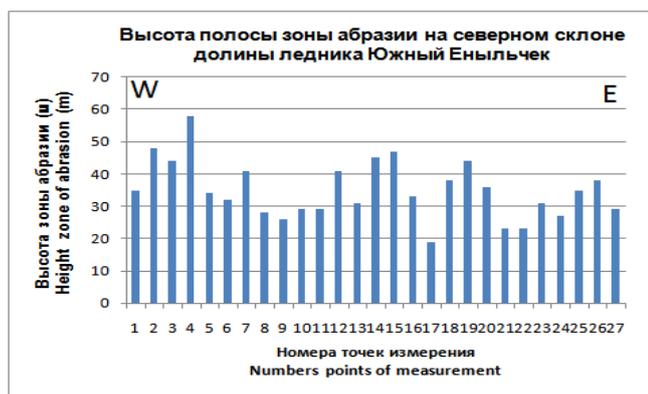


Рис. 20. Высота полосы абразии на северном склоне долины ледника Южный Еныльчек

Время расположения поверхности ледника на уровне верхней границы полосы абразии определено приблизительно по аэрофотоснимку 1943 года и космическим снимкам системы "Corona" от 1966 года (Рис.19). На этих снимках хорошо видно, практическое отсутствие полосы абразии за счет перекрытия ее льдом ледника. В то же время на снимках системы "Corona" от 1968 и 1974 года уже прослеживается верхняя часть полосы абразии.

Таким образом, можно предполагать, что основной процесс понижения поверхности ледника Южный Еныльчек происходил позже 1968 года. Не исключено, что это связано с общеизвестным климатическим температурным переломом, начавшимся в начале семидесятых годов прошлого века и проявившимся в устойчивом тренде повышения температур приземного слоя воздуха в регионе не только Центральной Азии. Однако это предположение требует более пристального изучения, так как по вышеприведенным данным измерений температуры по метеостанциям, близким к леднику Южный Еныльчек не наблюдалось тренда на повышения температуры воздуха в период 1051-1999 год. Тем не менее, факт уменьшения толщины ледника очевиден и по приблизительной оценке, за время от 1968 до 2000 года, на протяжении 32 лет скорость уменьшения толщины ледника, в среднем, была порядка 1,1м/год. В этом случае необходимо принимать во внимание точность SRTM3 по высоте около 14 м, так же разницу в 9 лет времени съемки космического снимка, использованного для определения границы ледника и времени получения данных для цифровой модели рельефа. Можно допустить что последнее существенно не влияет на результат измерения высоты полосы абразии так как в плане смещение границы ледника будет незначительно при изменении высоты его поверхности на 9 м.

Определение многолетнего изменения абсолютной высоты поверхности ледника Южный Еныльчек выполнено так же путем сравнения высоты рельефа по топографическим картам и трекам альтиметрических спутников, расположение которых показано на рис. 21.

Результаты измерений альтитуды поверхности ледника лазерным альтиметром спутника "ICESAT 1" выполненные в 2004-6 годах в восточной части языка ледника Южный Еныльчек были сопоставлены с абсолютной высотой рельефа по топографической карте масштаба 1:50000 от 1976 года.

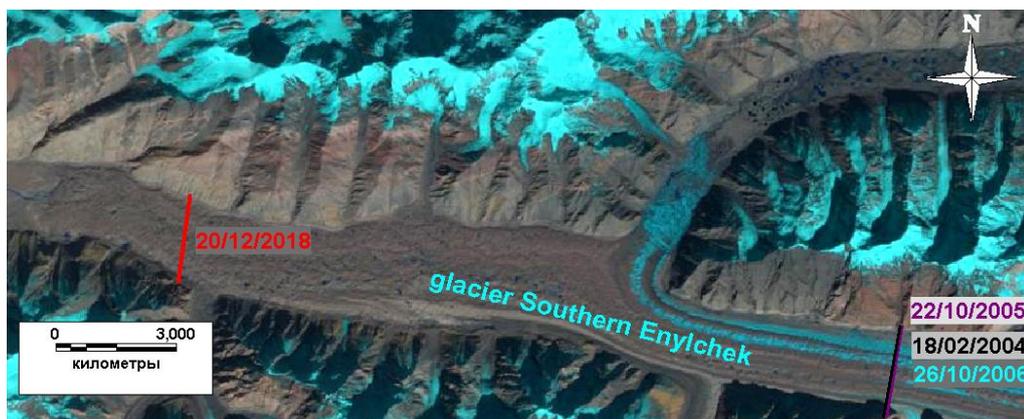


Рис. 21. Расположение на леднике Южный Еныльчек треков спутников “ICESAT 1” (восточные профили) и “ICESAT 2” (западный профиль).

Расположение наиболее близких друг к другу треков измерений альтитуды на поверхности ледника, в разное время, показано на рис. 22.

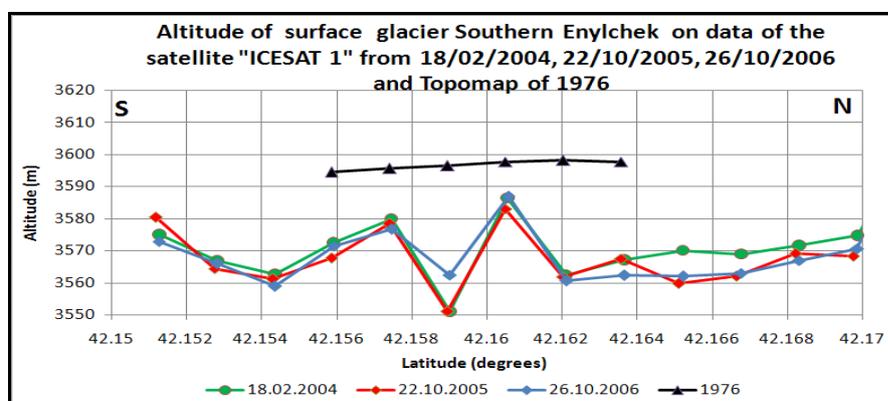


Рис. 22. Поперечные профили поверхности ледника Южный Еныльчек по измерениям спутника “ICESAT 1” в 2004, 5, 6 годах и уровень поверхности ледника по топографической карте масштаба 1:50000 по состоянию на 1976 год.

Как видно на этом рисунке, максимальное расстояние по долготе между треками 2004 и 2006 года - порядка 30 метров, минимальное между треками 2005 и 2006 года – порядка 7 метров. Профили альтитуды по рассматриваемым трекам показаны на рис. 23-а. Как следует из этого рисунка, рельеф поверхности ледника Южный Еныльчек имеет значительные перепады (до 40 м) по высоте, однако отличается относительной стабильностью расположения основных форм рельефа в разные годы. Средние медианные значения альтитуды по профилям в разные годы показаны в табл. 1.

Таблица 1

Год	Медиана альтитуды по профилям(м)	Разница альтитуд(м)
2004	3570,8	
2005	3567,5	3,3
2006	3566,4	1,1
1976	3597,1	30,7

Таким образом, с 1976 по 2006 год поверхность ледника Южный Еныльчек понизилась, а толщина ледника уменьшилась в среднем на 30,7 м, а скорость понижения в течение 30 лет была около 1 м/год. Эта величина согласуется с разницей

абсолютной высоты 1,1 м с 2005 по 2006 год для двух треков минимально отстоящих друг от друга по широте.

Аналогичное сравнение альтитуды поверхности ледника по топографической карте 1981-85 года съемки и результатов измерения альтитуды лазерным альтиметром спутника "ICESAT 2" полученным в 2018 году, было выполнено в западной части языка ледника Южный Еныльчек.

На рисунке 23-б показаны результаты сравнения альтитуды поверхности ледника в 1981 и 2018 году. Медианное значение альтитуды в 1981 году -3054, 5 м, а в 2018 - 3011,1 м.

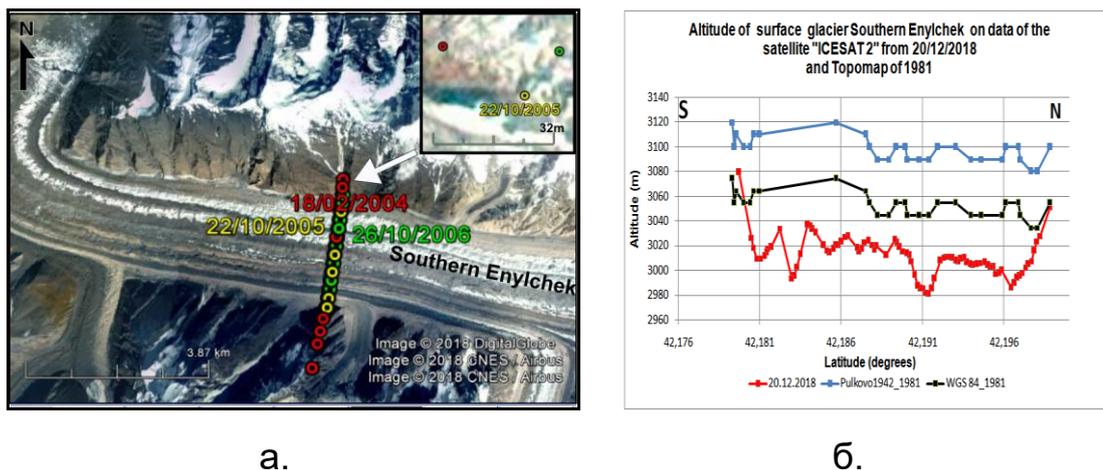


Рис. 23. а). Треки спутника "ICESAT 1" на поверхности ледника Южный Еныльчек в 2004, 5, 6 году. На врезке показано относительное расстояние между точками измерений в разные годы. б). Поперечный профиль поверхности ледника Южный Еныльчек по измерениям спутника "ICESAT 2" в 2018 году и уровень поверхности ледника по топографической карте масштаба 1:50000 по состоянию на 1981-85 год. Синим цветом показан уровень поверхности в Балтийской системе высот Системы координат Пулково 1942.

Таким образом, средняя величина понижения поверхности ледника за период 33-37 лет составила 43,4 м. Средняя скорость понижения поверхности ледника в этот период была 1, 24 м/год. Эта величина на 19% отличается от скорости полученной по восточному профилю. Это отличие может быть обусловлено разницей в 12 лет между получением спутниковых данных по восточному и западному профилям, что при предположении о сохранении скорости понижения на уровне полученного выше значения, дает дополнительное понижение уровня поверхности в западной части ледника на 15 м. Кроме этого нужно принимать во внимание перепад абсолютной высоты между восточным и западным профилями в 500-560 м за счет общего наклона поверхности ледника с востока на запад, что определяет разницу в температурных условиях и соответственно в интенсивности таяния льда.

Таким образом, результаты определения разными методами уменьшения высоты поверхности ледника Южный Еныльчек за период 1976-2018 год дали близкие по величине значения в диапазоне 30-43 м. Средняя скорость снижения поверхности ледника составила 1-1,2 м/год.

**Абляция ледника.** Измерение абляции на леднике Южный Еныльчек выполнялось в период 2014-2019 год посредством установки абляционных реек, местоположение которых показано на рис. 24.



Рис. 24. Расположение абляционных рек на леднике Южный Еныйльчек. Красные знаки- 2014-16 год, зеленые знаки- 2017-19 год

Рейки устанавливались по траектории движения льда ледника Южный Еныйльчек в западном направлении, вблизи середины потока льда и поперек этого потока, в районе северного участка промежуточной разгрузки ледника во впадину озера Мерцбахера. Кроме измерения величины годовой абляции производилось измерение координат и альтитуды в точках установки абляционных рек. Результаты измерения абляции показаны на рис. 25.

Анализ измерения величины абляции за период наблюдения 2014-19 год показал, что в пределах участка измерения абляция увеличилась в 2015-16 году относительно 2014-15 года, в 2016-17 оставалась на уровне 2015-16 года, а в последующие годы охватывает весь диапазон величин наблюдавшихся ранее.

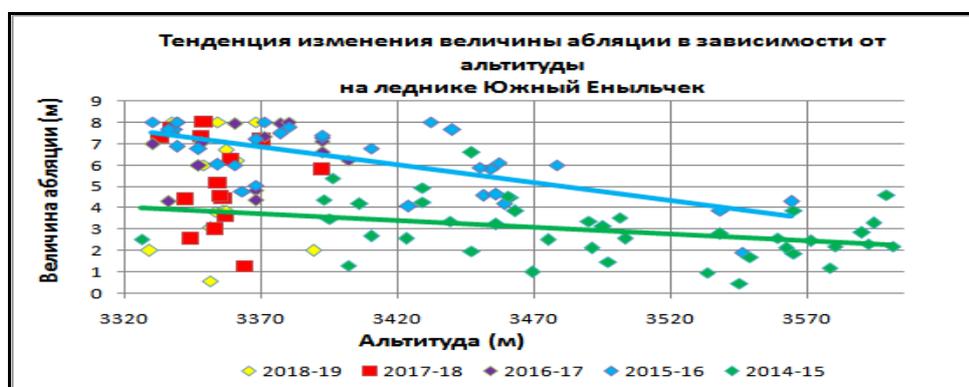


Рис. 25. Зависимость величины абляции от альтитуды на леднике Южный Еныйльчек

По полученным данным прослеживается известная закономерность увеличения величины абляции по мере уменьшения альтитуды поверхности ледника, в данном случае этот градиент абляции находится в диапазоне 0,006-0,016 при перепаде альтитуды на участке измерения от 3326 до 3601 м.

Диапазон вариации величины абляции показан на рисунке 26. Изменчивость абляции обусловлена особенностями слоистой структуры ледника, наличием разных потоков льда, неровным рельефом его поверхности и неравномерным покрытием мореной, обуславливающим наличие относительно теплого или холодного льда. Дальнейшие наблюдения за годовой абляцией позволят определить тенденции современного изменения ледника Южный Еныйльчек.

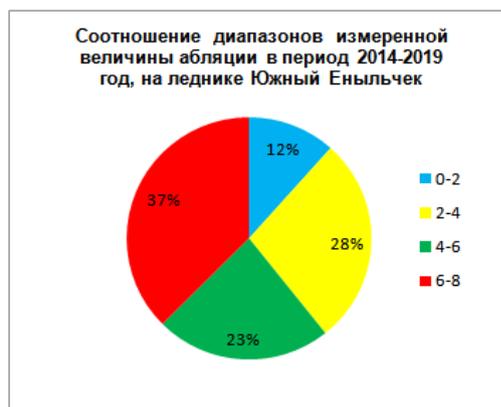


Рис. 26. Соотношение разных диапазонов измеренной величины абляции

**Скорость движения льда.** Движение льда ледника Южный Еныльчек происходит в направлении с востока на запад от области питания к области окончательной разгрузки в западной части языка, где берет начало река Еныльчек. Особенностью потока льда в языке является его разделение на два параллельно движущихся потока - южный и северный, начиная от области питания за счет наличия двух близких по ширине потоков - истоков, как это видно на рис. 27.



Рис. 27 Общий вид ледников Южный и Северный Еныльчек

В дальнейшем северный поток поворачивает в сторону озера Мерцбахера на северном участке промежуточной разгрузки, а южный продолжает движение на запад с постепенно уменьшающейся скоростью вплоть до нулевой вблизи западного конца языка ледника. В западной части языка происходит таяние поступающего льда как с поверхности ледника, в частности, в многочисленных провалах в виде воронок, трещин, так и во внутрiledниковых каналах стока. На северном участке промежуточной разгрузки лед северного потока обваливается во впадину озера Мерцбахера ледопадом где тает либо на грунте, либо в воде при наличии озера. Скорость движения поверхностного льда ледника Южный Еныльчек различна в его разных частях, здесь как и на других ледниках наблюдается известная закономерность наличия максимальных скоростей в центральной части потока и уменьшение ее в боковых частях. Это подтвердили ранее выполненные на основе анализа оптических и радарных космических снимков, полученных в период 2001-2011 год, измерения скорости движения поверхностного льда порядка 0,23-0,5 м/день. Эти же исследования обнаружили, что скорости больше вблизи верховья ледника, минимальны весной и максимальны летом [4, 5].

Наши измерения скорости движения поверхностного льда ледника Южный Еныльчек выполнялись разными методами, в частности использовались наблюдения за перемещением абляционных рек и дистанционные – анализ оптических и

радарных космических снимков. Измерение скорости движения поверхностного льда по абляционным рейкам, расположенным, в основном, в центральной части ледника, как это видно на рисунке 24, позволило определить среднегодовую скорость порядка 118 м/год с 2014 по 2016 год. Поэтому же профилю подтверждено ранее наблюдавшееся явление увеличения скорости движения льда по мере увеличения альтитуды поверхности ледника. Эти результаты находятся в соответствии с измеренными ранее скоростями порядка 80-130 м/год и их изменением по высоте [6].

В 2015-2016 годах были выполнены измерения скорости движения льда, электронным тахеометром «LEIKA TS09» от неподвижной точки на южном борту долины до отражателей на поверхности ледника Южный Еныльчек, в районе его промежуточной разгрузки. В июле 2015 года в разных потоках льда на поверхности ледника (рис.28) было установлено 3 пластиковых и 2 призмических отражателя с целью измерения скорости движения льда в различных потоках. Измерения тахеометром выполнялись каждый день в течение трех недель.



Рис. 28. Расположение отражателей на леднике Южный Еныльчек и средняя скорость движения льда в каждой точке.

В результате были получены инструментальные данные по скорости и направлению движения поверхности льда в летний период на леднике Южный Еныльчек. Средняя скорость движения поверхностного льда в различных потоках льда составляет около 0,6 м/день. Для определения движений ледников Северный и Южный Еныльчек методом трассирования объектов были использованы мультиспектральные, с разрешением 10м/п, снимки спутника ALOS/AVNIR2 на 23 августа 2006, 28 августа 2008 и 17 августа 2010 гг. [7]. Как видно на рис. 28 наибольшие скорости за период 2006-2010 год наблюдались в верхней восточной части ледника Южный Еныльчек (около 0.30 м/день). На северном участке промежуточной разгрузки, на повороте северного потока ледника в сторону озера Мерцбахера поверхностные скорости снизились до 0.21 м/день. В западном продолжении южного потока языка ледника скорости стали минимальными (0.09 м/день) и на конце языка достигли незначительных значений (в пределах ошибки измерений). По двум снимкам радарного спутника «Sentinel 1» от 05.08 и 29.08.2016 с помощью программного пакета «SNAP» Европейского космического агентства, методом «offset tracking» получены скорости движения поверхностного льда ледника Южный Еныльчек в районе северного участка промежуточной разгрузки. Как видно на рис. 29, в конце лета скорости находились в пределах 0.1-0.22 м/день.



Рис. 28. Скорости движения поверхностного льда на ледниках Южный и Северный Еныльчек

Максимум скоростей наблюдался в центральной части языка, скорость уменьшалась к краям языка и в западном продолжении от меридиана озера Мерцбахера южного потока языка. Аналогичный анализ был выполнен для двух радарных снимков спутника «Sentinel 1» от 20.08 и 01.09.2018 года. На рисунке 30 видно, что при разрешении снимков 20x40 м, картина распределения скоростей на леднике относительно 2016 года в целом аналогична, существенного изменения не наблюдается и скорости находятся в диапазоне значений полученных в предыдущих исследованиях.

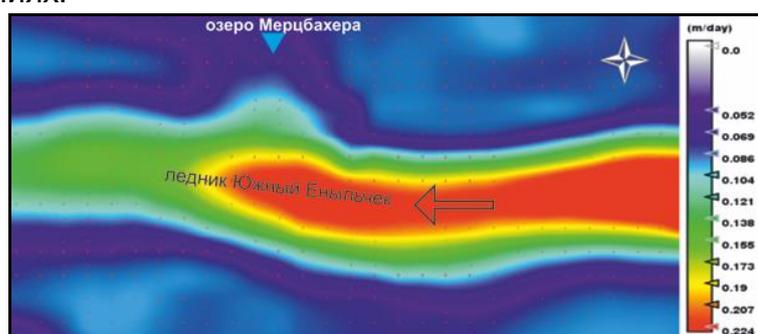


Рис. 29. Скорости движения поверхностного льда по радарным снимкам спутника «Sentinel 1» от 05.08 и 29.08.2016 года

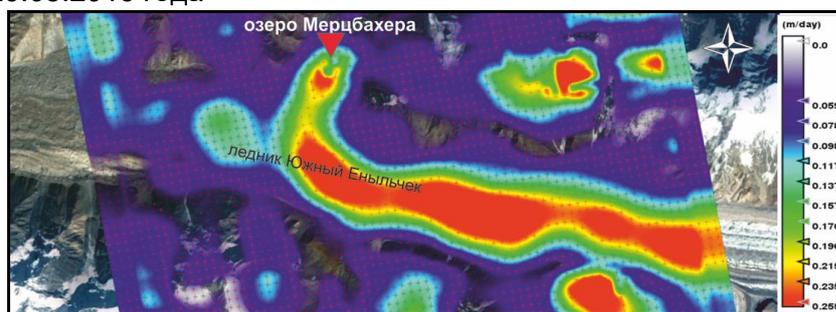


Рис. 30. Скорости движения поверхностного льда по радарным снимкам спутника «Sentinel 1» от 20.08 и 01.09.2018 года.

### Заключение

1. Ледник Южный Еныльчек на протяжении длительного периода с 1968 по 2019 год деградировал, что проявилось, в основном, в изменении его толщины в среднем на 36,5 м. Западный конец его языка незначительно отступил на 200 - 900 м с уменьшением площади на 0,9 км<sup>2</sup>, в основном, за счет эрозии ледниковыми и

речными водами. Незначительное отступление, с одной стороны, обусловлено сплошным перекрытием поверхности ледника, в его западной части, покровом моренных отложений, выполняющим роль теплоизолятора, который спорадически нарушается воронками, провалами и трещинами по которым в основном происходит таяние льда, так же, как и по внутри - ледниковым каналам стока. С другой стороны незначительное отступление конца языка обусловлено тем, что как показал анализ метеорологической информации, в районе ледника не происходило многолетнего повышения температуры воздуха, а наоборот наблюдался тренд на ее понижение. То есть, температурные условия были благоприятны для сохранения позиции конца языка ледника. Тем не менее баланс его массы имел отрицательный характер, что возможно обусловлено высокой инсоляцией, характерной для абсолютных высот на которых он располагается и стабильным многолетним уровнем атмосферных осадков, которые имели лишь незначительный тренд повышения. Эта особенность климатических условий и ее роль в изменении ледника требует дальнейших исследований.

2. Северный участок промежуточной разгрузки является в отношении динамики ледового стока активным по сравнению с западным пассивным, здесь по нашим расчетам разгружается порядка 71 % общего объема потока ледника подходящего к меридиану озера Мерцбахера, а 29% объема уходит по южному потоку в западном направлении к участку окончательной разгрузки. Северная граница северного участка непостоянна и меняется в зависимости от величины расхода потока, наличия или отсутствия озера Мерцбахера, однозначной тенденции отступления или наступления по ней не наблюдается.

3. Абляция на участке исследования находится в диапазоне 2-8 м/год в 88% случаев. За относительно короткий период выполненных наблюдений она изменяется, но эти изменения имеют кратковременный характер, не отражающий многолетнюю тенденцию.

4. Скорость движения льда на поверхности ледника находится в пределах диапазона значений полученных предшествующими исследованиями 0,2-0,5 м/день. Для выявления особенностей ее изменения во времени необходимы более детальные исследования.

#### Литература

1. Ледовые ресурсы Центрального Тянь-Шаня. - Бишкек: Илим, 1991. - 168 с.
2. Шабунин А.Г. Каталог ледников Кыргызстана. (ЦАИИЗ). Бишкек. 2018. 739 с. Электронный ресурс: <http://caia.g.kg/ru/otdely-ru/otdel-2-klimat-voda-i-prirodnye-resursy/publikatsii-2-go-otdela>
3. Диких А.Н., Кузьмиченок В.А. Озеро Мерцбахера. Вестник КРСУ / № 2, 2003.
4. Julia Neelmeijer, Mahdi Motagh, Hans-Ulrich Wetzel. Estimating Spatial and Temporal Variability in Surface Kinematics of the Inylchek Glacier, Central Asia, using TerraSAR-X Data *Remote Sensing* 2014, 6(10), 9239-9259; doi:10.3390/rs6109239.
5. Mohamad Nobakht, Mahdi Motagh, Hans-Ulrich Wetzel, Sigrid Roessner, Hermann Kaufmann. The Inylchek Glacier in Kyrgyzstan, Central Asia: Insight on Surface Kinematics from Optical Remote Sensing Imagery. *Remote Sensing*. 2014, 6, 841-856; doi:10.3390/rs6010841
6. Mayer C., Lambrecht A., Hagg W., Helm A. Scharrer K. Post-drainage ice dam response at lake Merzbacher, Inylchek Glacier, Kyrgyzstan, *Geografiska Annaler series a physical Geography Annuals*, 2008. (90 A/1) pp. 87-96.
7. Шабунин А.Г., Мандычев А.Н., Загинаев В.В. Изучение прорывов озера Мерцбахера в Кыргызстане с использованием спутниковых снимков и полевых данных. Сборник материалов Шестой Центрально-Азиатской ГИС Конференции. Бишкек. 2012



## ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОРОСИТЕЛЬНЫХ ВОД УЗБЕКИСТАНА

*Чембарисов Э.И., Рахимова М.Н., Мирзोकобулов Ж.Б.*

## PROBLEMS OF QUALITY MANAGEMENT OF IRRIGATING WATERS OF UZBEKISTAN

*Chembarisov E.I., Rakhimova M.N., Mirzokobulov Zh.B.*

**Абстракт:** В данной статье приведены результаты анализа проблем управления оросительных вод Узбекистана. При рассмотрении качества оросительных вод основное внимание уделено величине минерализации воды и преобладающему химическому составу по содержанию главных ионов. Многолетние изменения этих величин приведены на примере бассейна реки Сырдарьи,

где минерализация и химический состав речных вод бассейна не одинаковы. Для меньшего речного бассейна присущ свой состав речной воды с определенным содержанием токсичных и нетоксичных солей и их соотношением между собой. Одни и те же почвы можно оросить как хорошей по качеству водой, так и весьма неудовлетворительной, или токсичной.

**Ключевые слова:** минерализация, химический состав оросительных вод, реки бассейна р. Сырдарьи, водные ресурсы, гидрохимический режим, качество.

**Abstract:** This article presents the results of an analysis of the problems of managing irrigation water in Uzbekistan. When considering the quality of irrigation waters, the main attention is paid to the amount of water mineralization and the prevailing chemical composition in terms of the content of main ions. Long-term changes in these quantities are given by the example of the Syr Darya river basin, where the mineralization and chemical composition of the river waters of the basin are not the same. For a smaller river basin, its composition of river water is inherent with a certain content of toxic and non-toxic salts and their ratio to each other. The same soil can be irrigated with good quality water, or very unsatisfactory, or toxic.

**Key words:** mineralization, chemical composition of irrigation water, river basin. Syr Darya, water resources, hydrochemical regime, quality, water resources, hydrochemical regime, quality.

**Введение:** В настоящее время многие страны мира и целые регионы сталкиваются с необходимостью обеспечения управления ресурсами пресной воды. Ограниченность водных ресурсов, их качество и политика устойчивого использования являются объектами все возрастающей озабоченности. Узбекистан является основным потребителем водных ресурсов бассейна Аральского моря. В условиях современного дефицита водных ресурсов оценка их состояния на среднесрочную и долгосрочную перспективу представляет большой интерес, особенно в связи с ожидаемыми климатическими изменениями [1-5].

**Материалы и методы исследований.** При исследовании гидрохимического режима речных вод особый интерес представляет изменение минерализации по их длине. Этот процесс обуславливается различными природными и антропогенными факторами. К их числу можно отнести выщелачивание легкорастворимых солей из откосов и ложа, наличие в бассейнах засоленных почво-грунтов, участков с выкликивающими подземными водами и испарение. В опубликованных работах специалистов было выявлено, что в соответствии с генетическими особенностями состава поступающих в реку возвратных вод с орошаемой территории рост минерализации воды по длине реки происходит главным образом за счет увеличения хлоридов и сульфатов щелочных и щелочно-земельных металлов. Так, например, выявлено, что в большинстве рек Узбекистана химический состав воды постепенно переходит от ясно выраженного гидрокарбонатного кальциевого состава (Г-К) до хлоридно-

сульфатного-магниево-натриево (ХС-МН). Так, например, известно, что для оценки биологической продуктивности, качества природных вод большой интерес представляет изучение содержания щелочных металлов ( $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ ). В проведенных исследованиях выведены уравнения связей между минерализацией и концентрацией натрия и калия, рассмотрена их миграционная активность, которая зависит от характера гидрологических, биологических и др. факторов на различных участках рек. Начиная с 1991 г., и по настоящее время согласно нашему мнению начинается новый гидрохимический этап в исследованиях качества речных вод. Кратко его суть заключается в том, что исследователи начинают более глубоко изучать специфику загрязнения речных вод различными ингредиентами путем применения комплексных показателей и создания гидрохимических цифровых карт. Для всех рек бассейна Сырдарьи, а также его частей рассчитана величина изменения минерализации за различные периоды лет, начиная с 1925-1950 гг., до 2001-2011гг.[табл].

В последние годы в Узбекистане наблюдается дефицит качественной воды. В то же время на фоне общего маловодья в отдельные пустынные понижения, реки, подземные емкости, каналы и т.д. продолжают стекать возвратные воды с орошаемых полей, промышленные, городские и коммунально-бытовые стоки, а также стоки животноводческих ферм. Они, как правило, бывают минерализованными, содержат токсичные ионы и различные ингредиенты антропогенного происхождения. На территории Узбекистана, в зависимости от водности года, технического состояния гидромелиоративных систем и других факторов, формируется от 21,0 до 28,0 км<sup>3</sup> возвратных вод, где 90-92 % составляют коллекторно-дренажные воды. В объеме возвратного стока доля от промышленно-коммунально-бытового хозяйства варьирует от 1,1 до 1,4 км<sup>3</sup>. Уровень загрязнения основных рек республики- Сырдарьи, Чирчика производственно-бытовыми и сельскохозяйственными стоками все еще остается значительным. Для большинства рассматриваемых створов использованы математико-статистические методы, включая корреляционно-регрессионный анализ, а также математическое моделирование с учетом детерминированных, стохастических и синтезированных моделей.

**Объект исследований.** В процессе исследований метаморфизация минерализации и химического состава речных вод определена для 3-ех зон в бассейне Сырдарьи: а) формирования стока; б) транзита, в) зоны рассеивания стока.

**Обсуждение результатов исследований:** В воде р.Нарын в половодье преобладает углекислый кальций, из токсичных солей присутствуют сульфат магния и хлориды натрия и магния. В межень содержание токсичных солей увеличивается, причем кроме сульфата магния, в воде появляется и сульфат натрия.

В воде р.Карадарья и в половодье и в межень содержатся одни и те же соли, только в зимние месяцы повышено содержание сульфата натрия. Состав солей не меняется внутри года и в самой Сырдарье после слияния Нарына и Карадарьи, только в межень содержание каждой соли значительно выше. Не меняется состав солей в Сырдарье и при выходе ее из Ферганской долины, только их содержание по сравнению с верхним течением еще больше возрастает. Преобладающее место среди солей занимают сульфаты магния и кальция. Очень хорошая по качеству вода р. Ахангаран: среди солей здесь преобладает углекислый кальций, который не токсичен. Содержание токсичных солей не очень велико: 0,04-0,34 мг-экв. В устье реки содержание солей значительно меняется: в воде начинает преобладать сульфат магния и появляется в значительном количестве хлористый натрий. Похожая картина наблюдается и в р.Чирчик. Если в верховье реки вода является вполне пригодной для орошения, а содержание токсичных солей колеблется от 0,08 до 0,39 мг-экв, то к устью реки содержание токсичных солей значительно увеличивается,

Таблица - Многолетние изменения гидрохимических характеристик речных вод бассейна р. Сырдарья Узбекистана по отдельным периодам

Река	Створ	Годы																	
		1925-1950 гт.		1951-1960 гт.		1961-1970 гт.		1971-1980гт.		1981-1990 гт.		1991-2000 гт.		2001-2011 гт.					
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2				
Нарын	Учкурган	0,28	СГ-МК	0,29	СГ-МК	0,29	СГ-МК	0,30	СГ-МК	0,30	СГ-МК	0,30	СГ-МК	0,34	СГ-МК	0,42	СГ-МК		
Карада- рья	Кампырра- ват	0,30	СГ-МК	0,31	СГ-МК	0,32	СГ-МК	0,35	СГ-МК	0,40	СГ-МК	0,45	СГ-МК	0,50	СГ-МК				
Карада- рья	Учтпе	0,48	СГ-МК	0,49	СГ-МК	0,50	СГ-МК	0,52	ГС-МК	0,53	ГС-МК	0,60	ГС-МК	0,64	ГС-МК				
Чирчик	Ходжикент	0,17	Г-НК	0,18	Г-НК	0,18	Г-НК	0,19	Г-НК	0,20	Г-НК	0,21	Г-НК	0,23	Г-НК				
	Чиназ	0,34	СГ-МК	0,40	СГ-МК	0,44	ГС- НМК	0,65	ГС- НМК	0,72	ГС- НМК	0,71	ГС- НМК	0,72	ГС- НМК				
Ахангаран	Турк (устье р. Ирташ)	0,12	СГ-МК	0,12	СГ-МК	0,13	СГ-МК	0,13	СГ-НК	0,14	СГ-НК	0,16	СГ-НК	0,20	СГ-НК				
Ахангаран	Солдатское	0,32	СГ-МК	0,33	СГ-МК	0,44	СГ-МК	0,68	ГС- МНК	0,70	ГС- МНК	0,75	ГС- МНК	0,88	ГС- МНК				
Сырдарья	г. Наманган (к. Каль)	0,40	СГ-МК	0,45	ГС- НМК	0,62	ГС- НМК	0,64	С-МНК	0,65	С-МНК	0,68	С-МНК	0,70	С-МНК				
Сырдарья	г. Бекабад (к. Кызылки- шлак)	0,42	СГ-МК	0,59	ГС- НМК	1,03	С-НМК	1,20	С-МНК	1,22	С-МНК	1,24	С-МНК	1,27	С-МНК				

Примечание: 1-минерализация воды, г/л; 2- химический состав по преобладающим ионам и стадиям засоления: Х- хлоридный (Cl<sup>-</sup>); С- сульфатный (SO<sup>2-</sup>); Г- гидрокарбонатный (НСО<sub>3</sub><sup>-</sup>); Н-натрий (Na<sup>+</sup>); К-кальций (Ca<sup>+2</sup>); М-магний(Mg<sup>+2</sup>).

особенно в межень. Так, например, содержание сульфата магния доходит до 3,85 мг-экв, сульфата натрия - до 2,21 и хлорида натрия - до 1,35 мг-экв. Таким образом, из приведенных данных видно, что минерализация и химический состав речных вод бассейна реки Сырдарьи не одинаковы. В принципе для каждого меньшего речного бассейна присущ свой состав речной воды с определенным содержанием токсичных и нетоксичных солей и их соотношением между собой. Поэтому при орошении целинных земель в бассейнах одних рек за счет стока других водотоков, обязательно необходимо учитывать химический состав оросительных вод и их ожидаемые реакции с солями, находящимися в почвах. Одни и те же почвы (с их уже сложившейся геохимией и содержанием солей в поглощающем комплексе) можно оросить как хорошей по качеству водой, так и весьма неудовлетворительной, токсичной.

### **Заключение.**

1. В речных водах Средней Азии постоянно содержатся различные химические элементы (соли естественного происхождения, тяжелые металлы, остатки ядохимикатов и удобрений и т.д.), которые при орошении вызывают различные изменения в физико-химических свойствах орошаемых почв.

2. Одну из опасностей для орошаемой зоны Средней Азии представляет процесс засоления поливных земель. По проведенным расчетам, на орошаемые поля сейчас ежегодно поступает 55,0-60,0 млн.т различных солей естественного происхождения, при этом 40,0-46,0 млн.т солей выносятся из зоны формирования речного стока (горная область), а 17,0-19,0 млн.т из почв и пород нижних частей речных бассейнов в результате повторного использования некоторого объема речного стока на поливы;

3. Анализ состояния некоторых элементов водно-солевого баланса орошаемых массивов показал, что наиболее тяжелое мелиоративное состояние орошаемых земель наблюдается сейчас в нижней части бассейна Сырдарьи. В связи с повышением минерализации речных вод и ухудшением их состава в средних и особенно нижних участках рек ирригационное качество воды стало удовлетворительным.

### **Список литературы**

1. Ковда В.А. Происхождение и режим засоленных почв // Т.2, М.-Л.: Издательство АН СССР, 1947, 375 с.
2. Лесник Т.Ю. Гидрохимические особенности речных и коллекторно-дренажных вод бассейна реки Сырдарьи (в пределах Республики Узбекистан) // Автореферат канд. Диссер, Ташкент, САНИГМИ, 2004, 24 с.
3. Чембарисов Э.И. Гидрохимия орошаемых территорий (на примере Аральского моря), - Ташкент: Фан, 1988, 104 с.
4. Чембарисов Э.И. Бахритдинов Б.А. Гидрохимия речных и дренажных вод Средней Азии. — Ташкент, Укитувчи. — 1989, 232 с.
5. Чембарисов Э.И., Хожамуратова Р.Т. Коллекторно-дренажные воды Республики Каракалпакстан / Нукус, «Билим», 2008, С. 56.



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Рис.1. Положение района исследования.

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

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

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

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

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

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

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

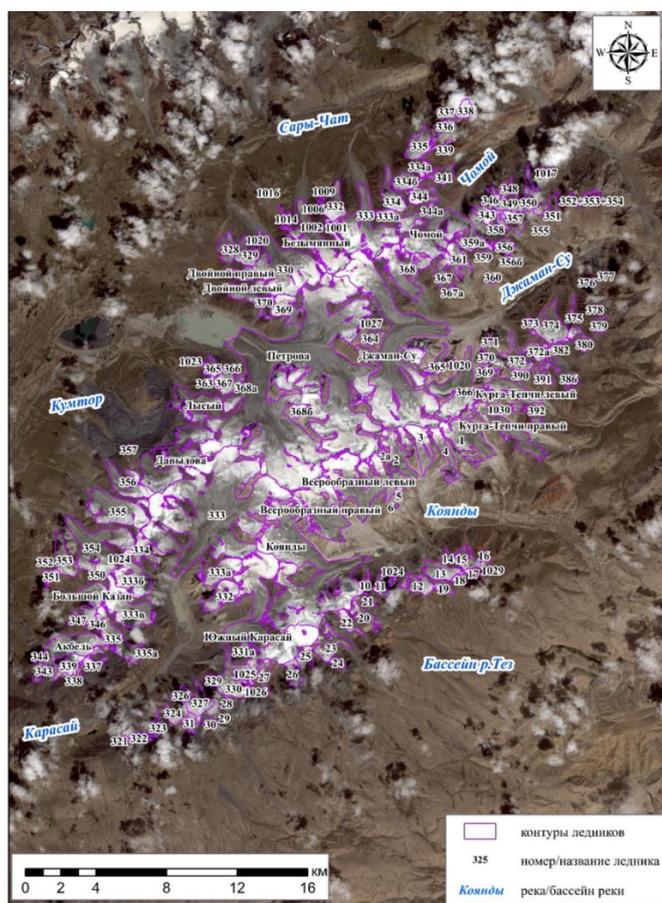


Рис. 2. Оледенение массива Ак-Шыйрак в 2018 г. Контур наложены на космический снимок Sentinel 2 MSI от 16 августа 2018 г.

Площади оледенения массива Ак-Шыйрак в 2003, 2013 и 2018 гг., сгруппированные по речным бассейнам в соответствии с каталогом ледников [19], [20], [21] показаны на рис.3 и в Табл.1. Количество ледников в массиве Ак-Шыйрак закономерно увеличилось со 189 в 2013 г. до 193 в 2018 г. Средний размер ледника уменьшился, соответственно, с 1,86 до 1,74 км<sup>2</sup>.

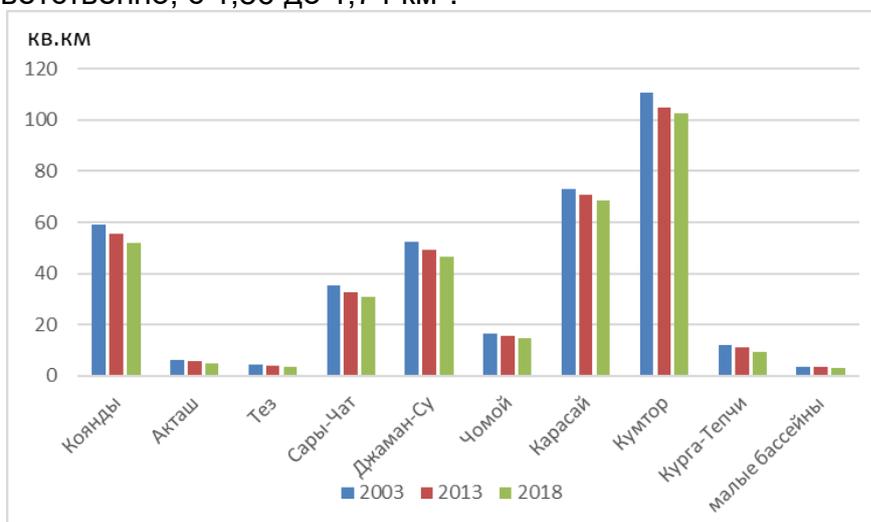


Рис. 3. Площадь оледенения массива Ак-Шыйрак в 2003, 2013 и 2018 гг.

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

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

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

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

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

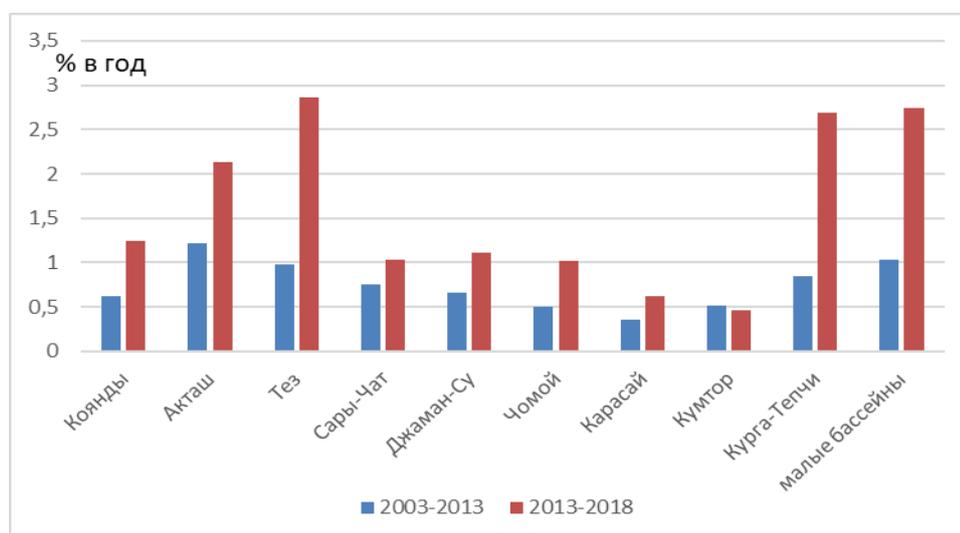


Рис.4. Сокращение площади оледенения массива Ак-Шыйрак в 2003-2013 и 2013-2018 гг. в % в год по основным речным бассейнам

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

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

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

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

## Выводы

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

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

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

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

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

## Список литературы

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

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



# ОСОБЕННОСТИ РАСПРОТРАНЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПОДЗЕМНЫХ ВОД УЗБЕКИСТАН

*Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю.*

## FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF CARBON-ACID GAS OF UNDERGROUND WATER OF UZBEKISTAN

*Yusupov Sh.S., Shin L.Yu.*

**Абстракт:** В работе обобщены результаты многолетнего мониторинга газохимического и изотопного состава подземных вод сейсмоактивных районов. Исследования проводились в сейсмоактивных районах Узбекистана. Опробовано около 60 водопунктов различных геолого-тектонических и гидрогеологических условий. Углекислота в подземных водах имеет различное происхождение и концентрацию. Содержание углекислого газа в грунтовых водах, составляет обычно от 20—30 до 200—300 мг/л. Генезис состава зависит от литолого-фациального состава, стратиграфической принадлежности водовмещающих пород и P-T<sup>0</sup>C условий водоносного горизонта.

**Ключевые слова:** водоносный горизонт, палеозой, стратиграфия, термометаморфизм, органогенный, сейсмоактивный район, подземные воды, мониторинг.

**Abstract:** The paper summarizes the results of many years of monitoring of the gas-chemical and isotopic composition of groundwater in seismically active regions. Studies were conducted in seismically active regions of Uzbekistan. About 60 water points of various geological-tectonic and hydrogeological conditions were tested. Carbon dioxide in groundwater has a different origin and concentration. The carbon dioxide content in groundwater is usually from 20-30 to 200-300 mg / l. The genesis of the composition depends on the lithologic-facies composition, the stratigraphic affiliation of the water-bearing rocks and the P-T<sup>0</sup>C aquifer conditions.

**Key words:** aquifer, Paleozoic, stratigraphy, thermometamorphism, organogenic, seismically active area, groundwater, monitoring.

**Введение** Условия образования природных газов исключительно разнообразны. Это - химические реакции, воздействие на горную породу высоких температур и давлений, радиоактивный распад, биохимическое превращение вещества и др. Процессы образования газообразных веществ происходят повсеместно. А так как газы обладают чрезвычайной подвижностью, то генетически чистые скопления (ассоциации) природных газов отсутствуют (А.Л. Козлов, 1950 г.; В.А. Соколов, 1966 г., и др.) [1, 2].

Подземные воды содержат наряду с другими газами, значительное количество углекислого газа. Содержание углекислого газа в грунтовых водах, составляет обычно от 20—30 до 200—300 мг/л. Этот углекислый газ, прежде всего, расходуется на выщелачивание карбонатных солей и выветривание силикатных пород.

**Актуальность.** Благодаря своей высокой реакционной способности углерод образует очень много соединений с другими элементами. Эти соединения участвуют в различных природных процессах, обусловленным тем или иным механизмом. Определение изотопного состава углерода и его соединений, позволяет изучать его геохимическую историю, а в некоторых случаях - ответить на вопрос об условиях образования этих соединений. Вместе с тем, содержащиеся в научных трудах и публикациях теоретические и практические разработки по изучению разделения изотопов углерода в различных системах до настоящего времени не использовались в выявлении региональных особенностей распределения и закономерностей формирования изотопного состава углерода в подземных водах. В частности, применительно к различным геолого-тектоническим и гидрогеологическим условиям Центральной Азии.

**Основные результаты исследований.** Другим источником углекислоты в недрах являются эндогенные процессы. На всех стадиях протекания этих процессов происходят физико-химические превращения, продуцирующие углекислоту. Реакции эти протекают при температурах от 100 до 800-1100°C и давлениях от 100—200 до 1000-1500 МПа. Выделяющийся углекислый газ поднимается по зонам тектонических нарушений к поверхности и, смешиваясь с подземными водами различного генезиса, формирует газо-химический состав подземных вод в зависимости от конкретной гидрогеологической обстановки. По преобладающему содержанию CO<sub>2</sub> следует выделить три главных компоненты: а) газообразный, б) в растворе – HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, в) твердом виде CO<sub>3</sub><sup>=</sup>(карбонаты).

Исследования проводились в сейсмоактивных районах Узбекистана. Опробовано около 60 водопунктов различных геолого-тектонических и гидрогеологических условий. Результаты даны в таблице:

Таблица:

Наименования (местоположения) скважины	Возраст вод. пород	T <sup>o</sup> C	CO <sub>2</sub> , об. %	δ <sup>13</sup> C, ‰
Галаба	K <sub>2</sub>	47,8	1,93	-18
ДВС	K <sub>2</sub>	62,4	4,56	-15.3
БИИ	K <sub>2</sub>	61,9	13,9	-12.9
Улугбек	K <sub>2</sub>	22	5,75	-16
Ботаника	K <sub>2</sub>	47	11,53	-13.9
Черняевка	K <sub>2</sub>	40	1,13	-16.3
Чинабад	K <sub>2</sub>	54	4,32	-9.3
Ташминвсув	K <sub>2</sub>	57	4,04	-13.5
ИБК	K <sub>2</sub>	65	1,16	-16.2
Янгиюль	K <sub>2</sub>	63	8,95	-18.2
Текстиль	K <sub>2</sub>		4,81	-19.2
ин-т Шредера	K <sub>2</sub>	40	2,24	-17.5
род. Кирк киз	Pz	16	0,92	-10.2
Чимгансай	Q <sub>2</sub>	7	0,27	-23.3
п.Ахмад Яссавий	P	58,4	4,92	-14.4
Чаткал	K <sub>2</sub>	47	10,5	-15,0; -21,6(ч); -18,2(ср)
Фазылов II гор.	K <sub>2</sub>	64	2,22	-16.0
Фазылов I гор.	K <sub>1</sub>	23	0,43	-14.2
род. Ходжикент	Pz	13,5	9,59	-18.0
Чартак	N <sub>1</sub>	39,5	0,62	-12.8
Чартак	N <sub>1</sub>	42	0,90	-6.7÷-13.6 (ср.-11.2)
Чартак	N <sub>1</sub>		4,7	-10.0
Чартак	N <sub>1</sub>	38	1,5	-16.1
Чартак	N <sub>1</sub>	27	0,24	-15.5(ч); -17
г. Андижан	N <sub>1</sub>		0,25	-8,6
Джалалабад	K <sub>2</sub>	46	0,82	-15.8
Ходжабад	K <sub>2</sub>		12,0	-14,4

Джалалабад	J	42	32,0	-10.4÷-19
Джалалабад	J		38,24	-13.5÷-12.5
Джалалабад	J	40	25,92	-14.0
Н/п «Ходжабад»	N <sub>1</sub>		8,0	-14,4
Наманган	N <sub>1</sub>	71	20,6	-11,9
Чимион	N	17,8	1,15	-12,5: -20,1
Шурчи	Q	21,5	0.21	-17.7
Шурчи	Q+N	25.5	0.18	-21.4
Шурчи	Q	21	0.25	-21.2
Жангельди	P <sub>z</sub> +K <sub>2</sub>	23	1.17	-17.2

Как видно из таблицы, содержание углекислого газа в Приташкентском артезианском бассейне имеет значение от 0,27 до 13,0 об.%; по Ферганскому артезианскому бассейну 0,03÷45,8 об.%; в подземных водах Юго-западного Узбекистана 0,8÷1,7 об.%. Максимальное количество углекислого газа 30-40 об.% содержится в юрских (Джалалабад) и палеозойских (Сев. Сох) водах Ферганского артезианского бассейна. Опираясь на работы Вартаняна (1967), Ибрагимова и др. (1975) и Юсупова (2017) [3,4,5] можно с уверенностью сказать, что углекислота образовалась в результате регионального термометаморфизма, так как изотопный состав углерода CO<sub>2</sub> - δ<sup>13</sup>C равна в среднем -15‰.

Самые минимальные содержания углекислого газа от 0,3 до 0,7 об.% принадлежат подземным водам четвертичных и неогеновых водоносных горизонтов, независимо от глубины скважин. Кроме этого, по изотопным данным (Юсупов, 2017) [5], углекислота подземных вод этих горизонтов имеет значение δ<sup>13</sup>C от -13 до -21,4‰, что указывает на ее органическое происхождение.

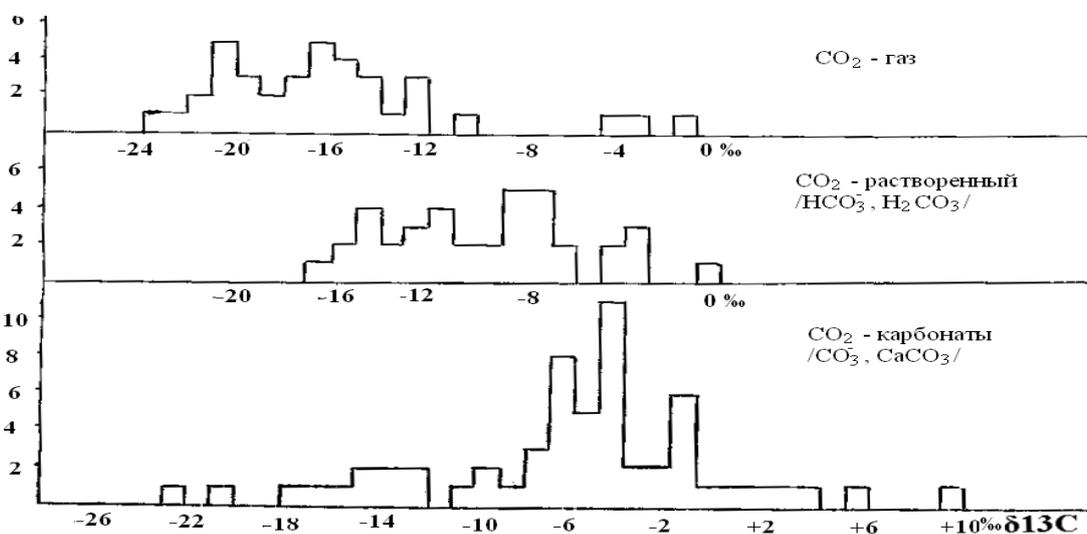


Рис. 1. Распределения углерода по трем состояниям карбонатной системы.

В Приташкентском артезианском бассейне наблюдается тенденция к уменьшению величины δ<sup>13</sup>C, что связано с изменением возраста водовмещающих отложений: воды нижнемеловых песчаников имеют δ<sup>13</sup>C = от -14,2 до -16,2‰; верхнемеловых от -10 до -22,0‰ (наиболее встречающиеся значения -16, -17‰); палеогеновых -14,4 ÷ -17,0‰; неогеновых от -18,5 до -26,7‰ и четвертичных от -18,1 до -26,1‰. Как видно из рис. 2, изотопный состав углерода подземных вод зависит от возраста водовмещающих отложений.

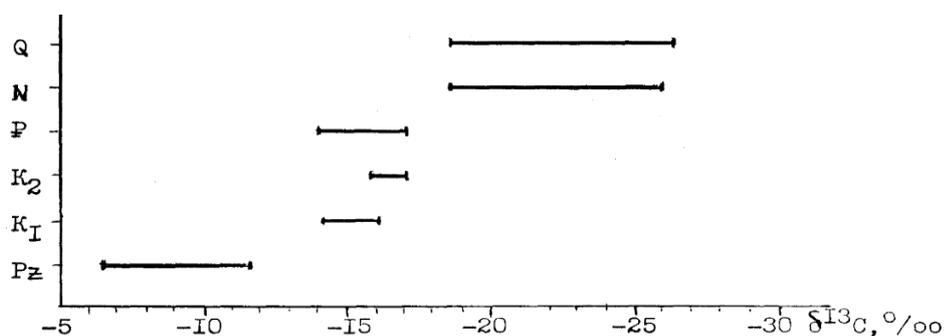


Рис. 2. Распределение изотопного состава углерода в подземных водах Приташкентского артезианского бассейна по возрасту водовмещающих пород.

В Ферганском артезианском бассейне воды юрских, меловых и неогеновых отложений характеризуются близкими величинами от -10,5 до -20,4‰, а четвертичных от -11,0 до -30,0‰. Несколько повышенные значения  $\delta^{13}C$  отмечаются для палеогеновых образований структуры Чимион (+1,5‰) и Шурсу (+2,0‰).

В Центральных Кизилкумах и в северо-западных районах Бухаро-Каршинского артезианского бассейна в песчаниках нижнего мела развиты воды с  $\delta^{13}C$  от -15 до -19,6‰, верхнего мела от -11 до -20,1‰.

В водах неогеновых отложений этот показатель не превышает -11,5‰.

В водах четвертичных галечников Бухаро-Каршинского (Шахрисабз) и Сурхандарьинского (Шурчи) артезианского бассейна  $\delta^{13}C = -17 \div -21$ ‰ (наиболее часто встречающиеся значения -20‰).

## Выводы

1. Установлено, что углекислота в подземных водах имеет различное происхождение и концентрацию.

2. Генезис состава зависит от литолого-фациального состава, стратиграфической принадлежности водовмещающих пород и P-T<sup>0</sup>C условий водоносного горизонта.

## Литература

1. Козлов А.Л. Проблемы геохимии природных газов. Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, Москва-Ленинград, 1950. 167 с.

2. Соколов В.А. Газы Земли. АН СССР. Научно-популярная серия: Наука, 1966. 136 с.

3. Вартамян Г.С. Роль процессов регионального метаморфизма в формировании некоторых типов минеральных вод и их провинций // Бюл. МОИП. Отдел геологии. -1968. - №3. С. 99-105.

4. Ибрагимов Д.С., Гаврилюк М.Г., Матыченков В.Е., Авганов Х.Г. О формировании углекислых минеральных вод восточной части Средней Азии/ В сб.: Прикладные вопросы гидрогеохимии и гидродинамики Средней Азии. Ташкент: Фан, 1975. С. 55-104.

5. Юсупов Ш.С. Изотопная геохимия углерода подземных вод Центральной Азии. ИС АН РУз, Ташкент: Сиваш, 2017, 219 с.



**ВАРИАЦИИ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УГЛЕРОДА CO<sub>2</sub> ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗАВИСИМОСТИ ЛУННЫХ ФАЗ И ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ**  
*Юсупов Ш.С.*

**Variations in the carbon isotope composition of CO<sub>2</sub> in groundwater depending on the lunar phases and during a solar eclipse**  
**Yusupov Sh.S.**

**Абстракт:** Выявление особенностей вариаций изотопных отношений <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C водорастворенного углекислого газа во времени производилось на основе результатов режимных наблюдений на Ташкентском геодинамическом полигоне. Зафиксированы изотопные аномалии по углероду CO<sub>2</sub> наряду с другими параметрами подземных вод, а именно с содержанием CO<sub>2</sub>, растворенном в воде. В последние годы в литературе обсуждался вопрос влияния приливных эффектов на газовые потоки из глубин Земли. В связи с этим в 1976 г. был произведен эксперимент в ходе которого отбирались и анализировались пробы газа из подземных вод. А в 1987 г. эти исследования вновь повторялись с целью изучения вариации δ<sup>13</sup>C в CO<sub>2</sub> в связи с солнечным затмением. В работе представлены результаты этих экспериментов.

**Ключевые слова:** изотопный состав, скважина, водорастворенный газ, геодинамический полигон, краткосрочный, долгосрочный, приливной эффект, солнечное затмение.

**Abstract:** The identification of the peculiarities of the variation of the <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C isotope ratios of water-dissolved carbon dioxide over time was made on the basis of the results of regime observations at the Tashkent geodynamic test site. Carbon isotopic anomalies of CO<sub>2</sub> were recorded along with other parameters of groundwater, namely, with a CO<sub>2</sub> content dissolved in water. In recent years, the issue of the influence of tidal effects on gas flows from the depths of the Earth has been discussed in the literature. In this regard, in 1976, an experiment was conducted in which gas samples were taken and analyzed from groundwater. And in 1987, these studies were repeated again in order to study the variation of δ<sup>13</sup>C in CO<sub>2</sub> due to the solar eclipse. The paper presents the results of these experiments.

**Key words:** isotopic composition, well, water-dissolved gas, geodynamic polygon, short-term, long-term, tidal effect, solar eclipse.

**Введение.** Выявление особенностей вариаций изотопных отношений <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C водорастворенного углекислого газа во времени производилось на основе результатов режимных наблюдений с 1978 по 2006 гг. на Ташкентском геодинамическом полигоне. Зафиксированы изотопные аномалии по углероду CO<sub>2</sub> во всех 3-х наблюдаемых скважинах полигона наряду с другими параметрами подземных вод, а именно с содержанием CO<sub>2</sub>, растворенном в воде этих скважин. Под режимным наблюдением находились скважины, расположенные в парке Галаба (№3), по ул. Буюк ипак йули (БИЙ) (№6), пос. Улугбек (№7) (рис. 1).

Газо-химические и изотопные параметры этих скважин представлены в таблице. Пробы газа на изотопный анализ отбирались с частотой 3-5 раз в неделю. Как свидетельствуют измерения изотопного состава углерода в упомянутых скважинах, даже в периоды относительного сейсмического покоя величина δ<sup>13</sup>C непостоянна - отклонения от среднего значения составили (в период 1986-2006 гг.) ± 10%. Последовавшие многолетние систематические наблюдения показали возникновение вариаций с большой амплитудой колебания этой величины. По

времени проявления, они являются краткосрочными (непродолжительными), так и долгосрочными (продолжительными).

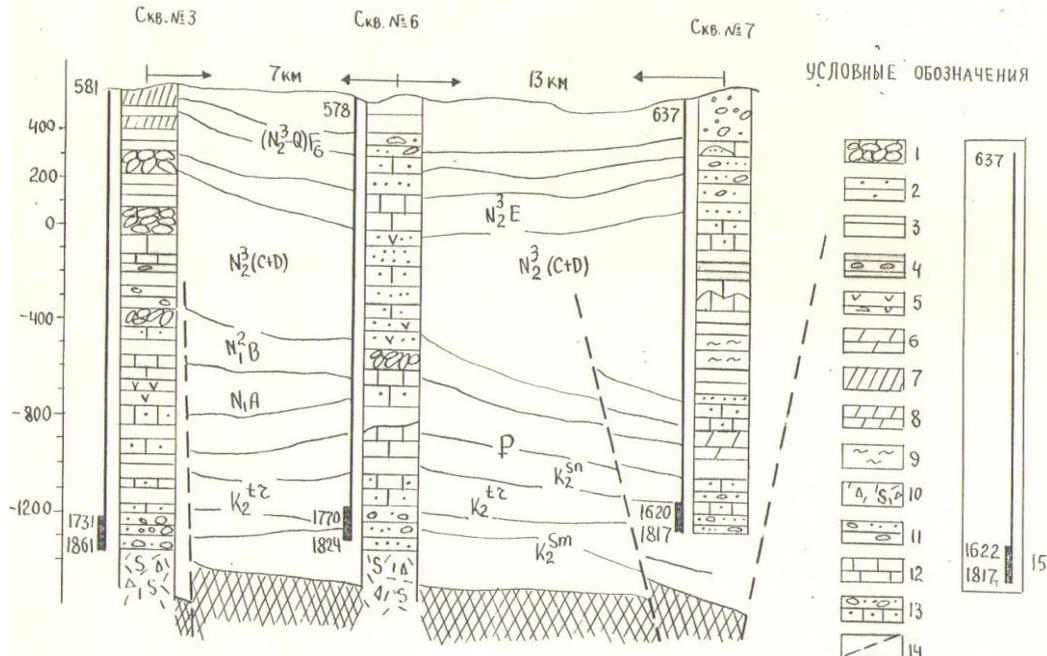


Рис.1. Геологический разрез скважин № 3, 6, 7 Ташкентского геодинамического полигона.

1 - конгломерат; 2 - песчаник; 3 - глина; 4 - глина с прослойками гравия; 5 - глина с гипсовыми включениями, галькой и гравием; 6 - глина с прослоями суглинка; 7 - суглинок; 8 - мергель; 9 - аргиллиты; 10 - туфы, туфобрекчи с вулканическими бомбами; 11 - глина, запесоченная с включениями гальки; 12 - известняк; 13 - гравий с прослоями песчаника; 14 – линии тектонических нарушений; 15 - пьезометрический уровень подземных вод в абсолютных метрах и интервал перфорации.

Распределение изотопных данных представлено в виде гистограмм (рис. 2), по которым видны среднемноголетние значения  $\delta^{13}\text{C}$  за период 1978-2006 гг.



Рис. 2. Гистограмма распределения величины  $\delta^{13}\text{C}$  в  $\text{CO}_2$  подземных вод Ташкентского геодинамического полигона

Среднеквадратичные отклонения изменяются от 2,7 до 1,46‰ для всех наблюдаемых скважин, а среднеарифметические значения  $\delta^{13}\text{C}$  для скв.№3 соответствуют -18,0‰, для скв.№6 -13,2‰, для скв.№7 -19,7‰ [1].

**Основная часть.** В последние годы в литературе обсуждался вопрос влияния приливных эффектов на газовые потоки из глубин Земли [2].

В связи с этим в марте-апреле 1976 г. был произведен эксперимент, в ходе которого из скважины Улугбек каждые четыре часа с соблюдением условий идентичности отбирались и анализировались пробы газа на изотопный анализ [3].

В результате эксперимента установлено изменение величины  $\delta^{13}\text{C}$  в течение суток (рис. 3). **Полученные значения представляют собой кривые с короткопериодическими (2-4 дня) вариациями, однако синхронности их с лунными фазами не отмечалось.**

В 1987 г. эти исследования вновь повторились с целью изучения вариаций  $\delta^{13}\text{C}$  в  $\text{CO}_2$  в связи с солнечным затмением. 23 сентября 1987 г. с 7 часов 17 мин. по 9 часов 27 мин. по Ташкентскому времени произошло солнечное затмение с эффектом 85%. Эксперимент начат с 16 сентября на скважине Галаба (№3). Пробы газа отбирались в начале эксперимента ежедневно, до момента самой высокой кульминации луны над Ташкентом. А с 22 по 24 сентября отбор проб производился через каждые 2-3 часа, затем уже до 30 сентября ежедневно.

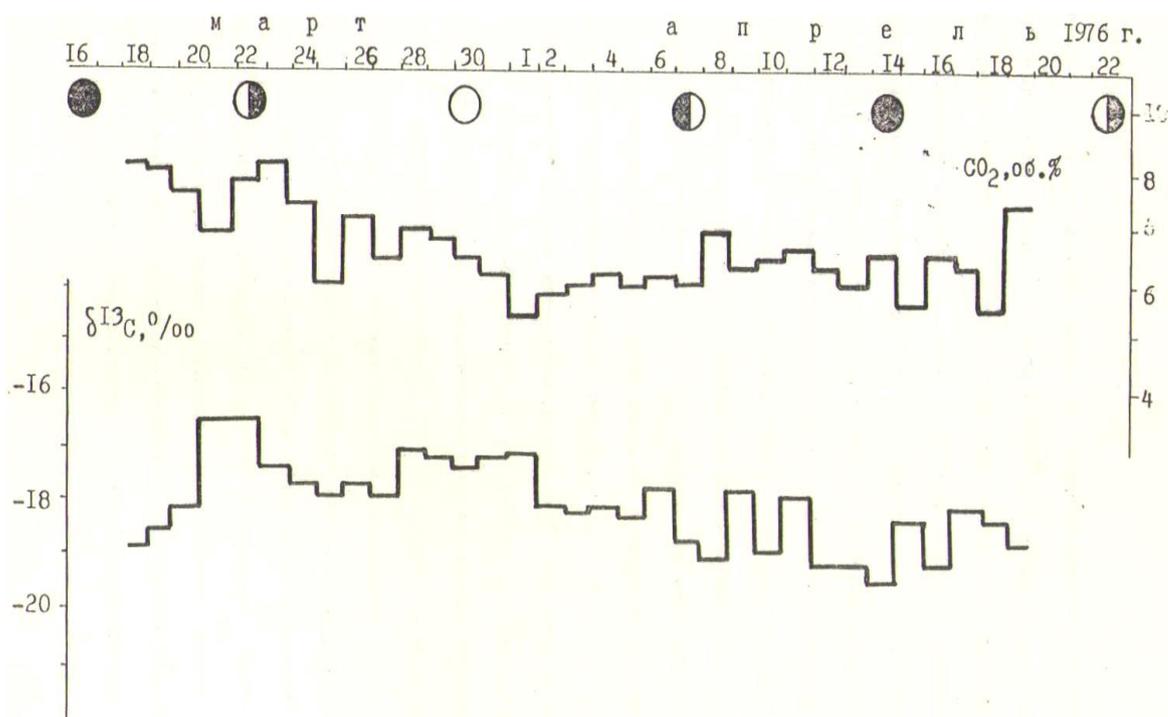


Рис. 3. Вариации содержания и изотопного состава углекислого газа в подземных водах Ташкентского геодинамического полигона во времени (частота отбора 6 раз в сутки)

Результаты этого эксперимента представлены на рис. 4.

Первая кривая представляет вариации ежедневных замеров величины  $\delta^{13}\text{C}$  в период всего эксперимента. Вид кривой похож на синусоиду. Максимум синусоиды, т.е. утяжеление  $\text{CO}_2$  по углероду (-14,5‰) соответствует фазовым состояниям Луны (последняя четверть - 17 сентября; новолуние - солнечному затмению 23 сентября и первая четверть - 30 сентября 1987 года). Минимум синусоиды отвечает

значениям  $\delta^{13}\text{C}$  -21; -23‰. Разность между экстремальными значениями составляет 7-8‰.

Вторая кривая представляет собой более тонкую структуру, возможной вариации изотопного состава углерода водорастворенного  $\text{CO}_2$  в связи с солнечным затмением. Как уже отмечалось, во время солнечного затмения пробы газа отбирались через каждые 2-3 часа в течение 72 часов.

Если сложить первую и вторую кривые вместе, то создается мнение о том, что явление солнечного затмения нарушает общий ход кривой. Ход второй кривой показывает, что до солнечного затмения величина  $\delta^{13}\text{C}$  резко "облегчается" и достигает от -14 до -21,5‰, затем в течение 8 часов утяжеляется до -15,0‰, и затем в течение 16-18 часов опять достигает минимального значения, т.е. -21‰. Амплитуда изменения  $\delta^{13}\text{C}$  в течение 72 часов составила 7‰.

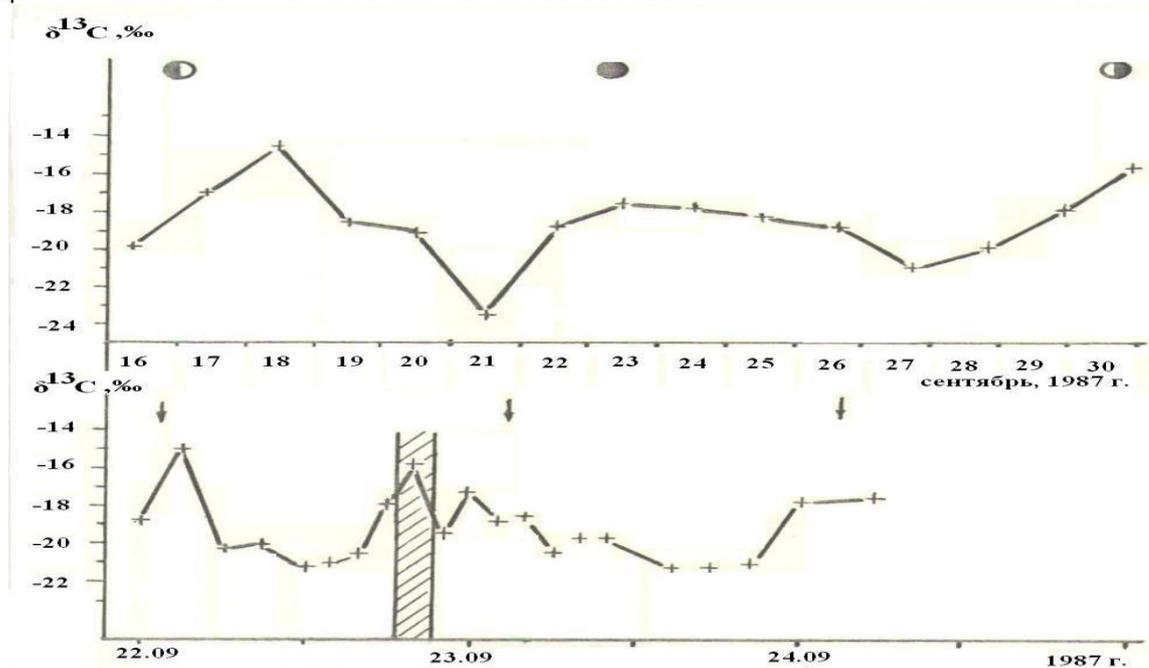


Рис. 4. Вариации изотопного состава углерода в подземных водах Ташкентского геодинамического полигона (скв. Галаба) в период солнечного затмения в 1987 года. Круги - фазы луны; стрелки - моменты восхода Солнца; штрихованная зона – время солнечного затмения.

Объяснение этого явления с гидрогеохимической точки зрения не представляется возможным.

**По всей вероятности такое явление обусловлено приливными эффектами земной коры, вызывающими деформационные процессы в гидросфере и, как следствие, воздействующие на баланс карбонатной системы газ - вода - порода.**

Проведенный анализ временных рядов  $\delta^{13}\text{C}$ , полученных в результате многолетних режимных наблюдений за изотопным составом углерода  $\text{CO}_2$  подземных вод Ташкентского геодинамического полигона позволили выделить значительные аномалии в содержании  $^{13}\text{C}$ .

В ряде случаев наблюдается синхронное изменение величины  $\delta^{13}\text{C}$  по всем опробованным скважинам.

В поисках возможных причин возникновения этих аномалий нас привело к рассмотрению вариации величины  $\delta^{13}\text{C}$  в связи с сейсмической активностью исследуемого полигона.

Таблица

Средние значения газо-химического и изотопного состава подземных вод Ташкентского геодинамического полигона

Наименование скважины	Стратификация	Глубина перфорации, м.	Температура воды, °С	Химический состав вод	Содержание газов в объеме, %						Радиоактивность
					N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	He	Ar	
Изотопный состав	Эманация										
<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar, δ <sup>13</sup> C‰											Rn
Скважина "Буюк ипак йули" №6	K <sub>2</sub>	1700-	61,9		77,4	3,5	13,4	0,0007	0,66	1,53	5,5
305 -13,2											
Скважина "Улугбек" №7	K <sub>2</sub>	1662-	22		87,2	0,5	5,45	0,0012	1,58	1,41	5,5
314 -19,7											
Скважина "Галаба" №3	K <sub>2</sub>	1737-	48,7		76,3	2,0	1,93	0,0007	0,16	0,77	4,5
305 -18,0											
		1861									

## Выводы

1. Полученные результаты по выявлению связи изотопного состава углерода в CO<sub>2</sub> подземных вод с лунными фазами на дали выраженных корреляции. Значений δ<sup>13</sup>C представляют собой кривые с короткопериодическими (2-4 дня) вариациями, однако синхронности их с лунными фазами не отмечалось.

2. Вариационные изменения изотопного состава углерода во время солнечного затмения не возможно объяснить с гидрогеохимической точки зрения. По всей вероятности такое явление может быть обусловлено приливными эффектами земной коры, вызывающими деформационными процессами в гидросфере и, как следствие, воздействующие на баланс карбонатной системы газ - вода – порода [4, 5, 6, 7].

## Литература

1. Султанходжаев А.Н., Юсупов Ш.С. Режимные наблюдения за величиной δ<sup>13</sup>C на Приташкентском геодинамическом полигоне// ДАН РУз, № 12, 1993
2. Тугаринов А.Н. Сардаров С.С. Изменение в глубинных потоках радиогенных газов как следствие упругих деформаций земной коры// ДАН СССР, 1975, т.223, №4, стр. 856-859
3. Гидрогеохимические предвестники землетрясений. Москва (Наука), 1985, 275 с.
4. Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. М., 1968, 223 с.
5. Юсупов Ш.С. Особенности формирования изотопного состава углерода в подземных водах// Геохимия, 1994, стр. 732-738
6. Юсупов Ш.С. Изотопная геохимия углерода подземных вод Центральной Азии. Под ред. Абдуллабекова К.Н., Ташкент, Сиваш, 2017. 245 стр.
7. Султанходжаев А.Н., Юсупов Ш.С. Особенности формирования изотопного состава углерода CO<sub>2</sub> подземных вод// ДАН РУз, № 11, 1993. с. 32-34



**Материалы международной конференции  
«Дистанционные и наземные методы исследования Земли в Центральной-  
Азии»**

**Material of International Conference  
«Remote and Ground-Based Earth Observation in Central Asia»**

Подписано в печать 09.09.2019. Отпечатано в типографии ОсОО «МоЮР»,  
Кыргызстан, Бишкек, ул.Льва Толстого 62.  
Тираж 70экз. Формат 60/84/16. Бумага офсетная 80 гр. Печать цифровая  
Объем 4,37 п.л.

**Д 1804040000-14  
ISBN 978-9967-12-834-7**

**УДК 528  
ББК ББК 26.323**