

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики
Российской академии наук
(ИТПЗ РАН)

КОМПЛЕКС НОВЫХ ПОДХОДОВ К
УТОЧНЕНИЮ СЕЙСМИЧЕСКОЙ
ОПАСНОСТИ, ОПЫТ КЫРГЫЗСТАНА

к.ф.-м.н. Орунбаев Сагынбек Жолчуевич

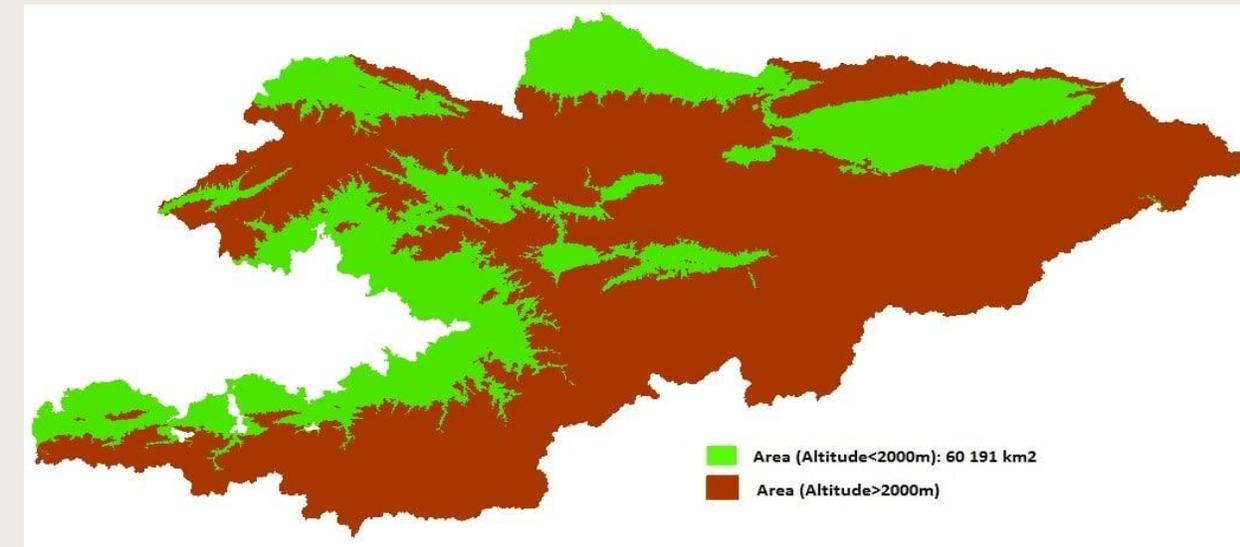
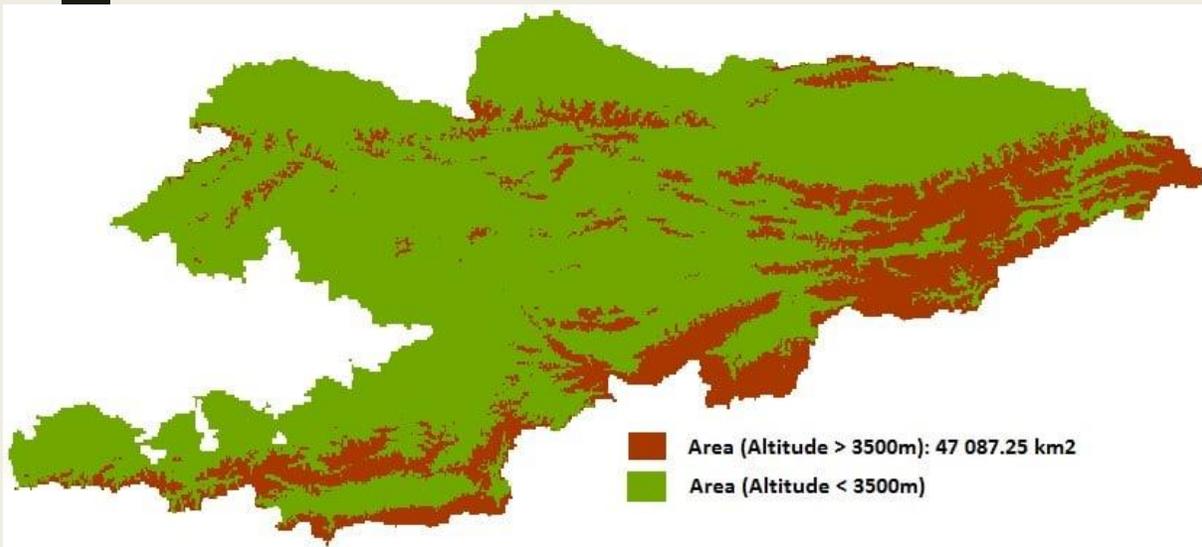
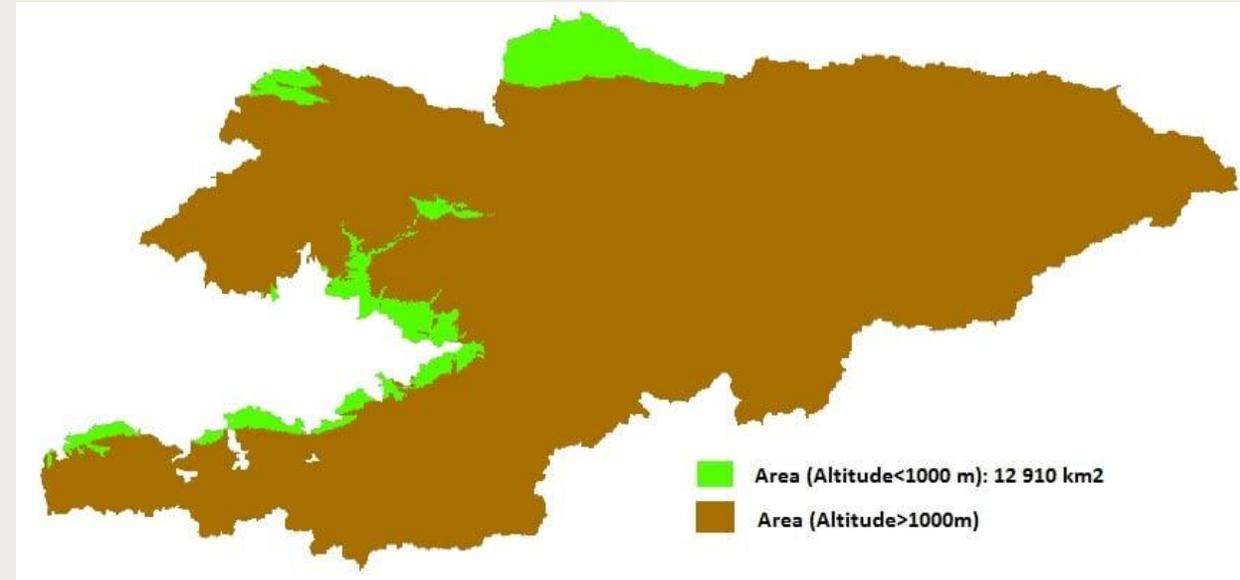
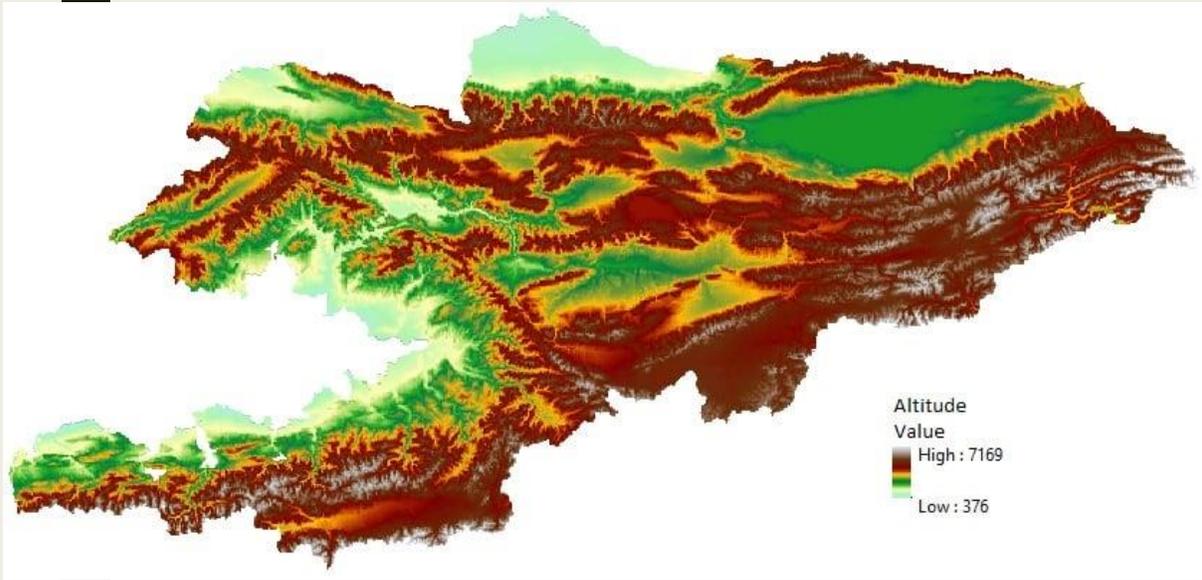
- 1. Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, Бишкек, Кыргызстан*
- 2. Научно-исследовательский институт Сейсмостойкого строительства, КГУСТА, Бишкек, Кыргызстан*
- 3. Американский университет в Центральной Азии, Бишкек, Кыргызстан*

ИТПЗ РАН
Москва 2022

В докладе будут освещены результаты работ по ряду новых подходов к уточнению сейсмической опасности:

1. Исследования в горных регионах на основе комплекса методов дистанционного зондирования (ДЗ) и наземных измерений; поиски значимых корреляций между результатами сейсмических измерений и результатами ДЗ;
2. Оценка собственных периодов колебания зданий и грунтов по сейсмическим данным; близкие собственные периоды зданий и грунта угрожают резонансом, и как результат разрушением зданий при меньших сейсмических нагрузках;
3. взаимодействие грунт-здание (soil-structure interaction), новое направление изучения откликов передачи сейсмических волн от грунта к зданию и обратно от здания к грунту;
4. реакция разных типов зданий на землетрясения (на примере г. Бишкек); восемь типовых конструкцией оснащены акселерометрами на разных этажах зданий. Оценка уязвимости зданий при разных землетрясениях;
5. оценка величин максимальных воздействий по макросейсмическим (палеосейсмическим) данным.

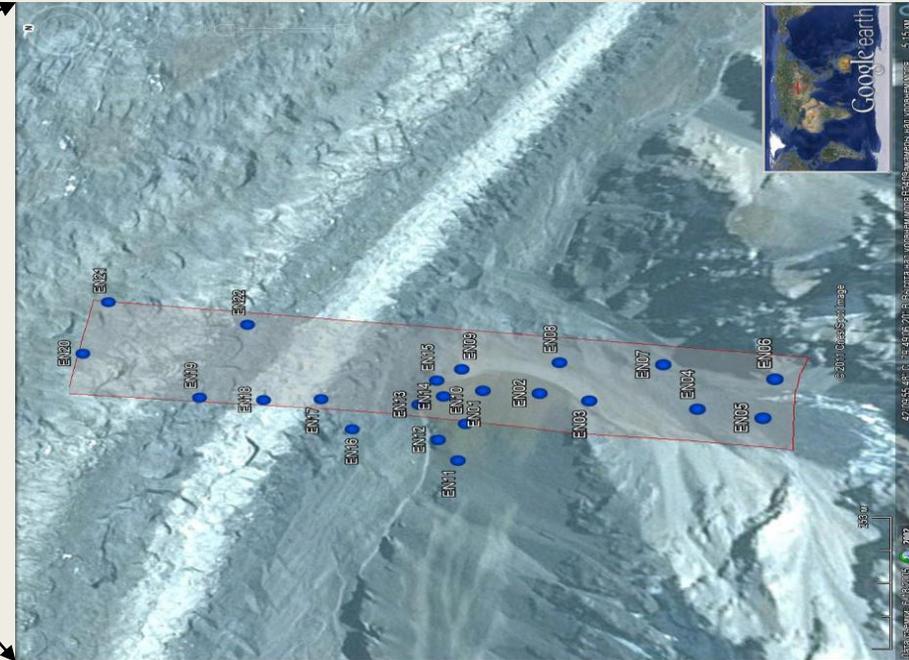
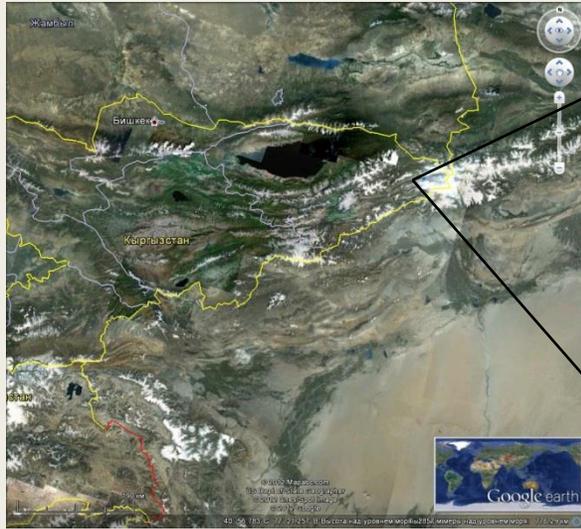
Территория Кыргызской Республики - 199,9 тыс. км²



Исследования в горных регионах на основе комплекса методов дистанционного зондирования (ДЗ) и наземных измерений; поиски значимых корреляций между результатами сейсмических измерений и результатами ДЗ

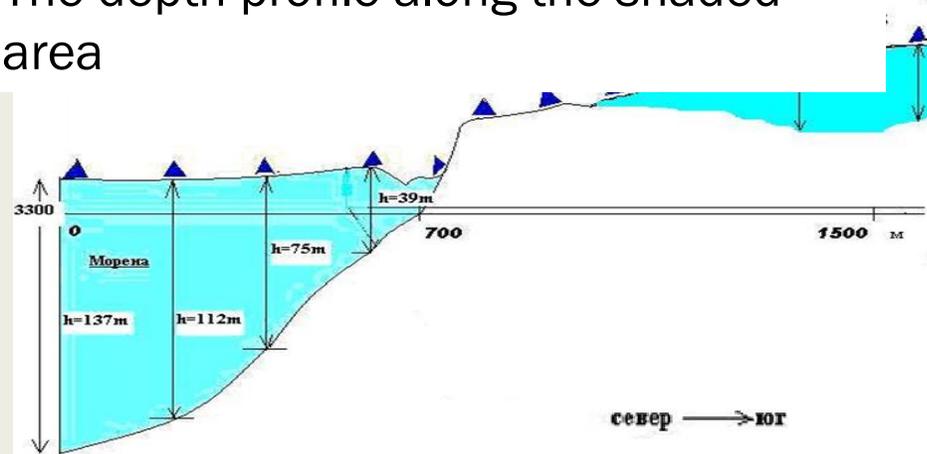
- S. Orunbaev, M. Pilz, Sh.Usupaev, B.Moldobekov, S.Parolai, Noise measurements in the Enylchek glacier moraine (central Tien-Shan region): assessment of the glacier thickness by determination of the fundamental resonance frequency // 33rd General Assembly of the European Seismological Commission, 19-24 August, Moscow, 2012 33rd General Assembly of the European Seismological Commission
- Pilz M, Isken M.P., Fleming K, Orunbaev S. and Moldobekov B., Long- and Short-Term Monitoring of a Dam in Response to Seasonal Changes and Ground Motion Loading: The Test Case of the Kurpsai Dam, Western Kyrgyz Republic // Pure Appl. Geophys. 178 (2021), 4001–4020 DOI: <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02861-5>
- Kulenbekov Zh., Orunbaev S., Zhumabaev A., Hydrologic Model for Runoff Simulation of the Kyzyl-Suu River // In (Springer) book: Water Resource Management in Central Asia and Afghanistan, May 2021 DOI: 10.1007/978-3-030-68337-5_3
- Kulenbekov Zh., Orunbaev S., Asanov B., Investigation of the High Mountain Vegetation Using Satellite Imagery, Kyrgyzstan // In (Springer) book: Water Resource Management in Central Asia and Afghanistan May 2021 DOI: 10.1007/978-3-030-68337-5_15
- Kulenbekov Zh., Orunbaev S., Zhumabaev A., Hydrologic Model for Runoff Simulation of the Kyzyl-Suu River // In (Springer) book: Water Resource Management in Central Asia and Afghanistan, May 2021, DOI: 10.1007/978-3-030-68337-5_3
- Kulenbekov Zh., Khazieva E., Orunbaev S., Asanov B., New Approaches and Advanced Methodology in Integrated Water Resources Management: Amu Darya River Basin // In (Springer) book: Water Resource Management in Central Asia and Afghanistan, May 2021, DOI: 10.1007/978-3-030-68337-5_17
- Orunbaev S., Asanov B., Kulenbekov Zh., Groundwater Flooding Risk Assessment Using Microseismic Arrays and VES Techniques in the Northern Part of Bishkek // In (Springer) book: Water Resource Management in Central Asia and Afghanistan, May 2021, DOI: 10.1007/978-3-030-68337-5_10
- Kulenbekov Zh., Orunbaev S., and Mamedov E., Changes in Groundwater Levels and the Response of Natural Vegetation to Transfer of Water to the Karagachev Groves // International Journal of Earth Science and Geology, ISSN: 2642-1569, 2021; 3(1): 100-104., doi: 10.18689/ijeg-1000113

Seismic noise measurements for assessment of the Enylchek glacier thickness



The glacier thickness measurement (blue area) by using the horizontal-to-vertical (H/V) spectral ratio method and seismic noise recording.

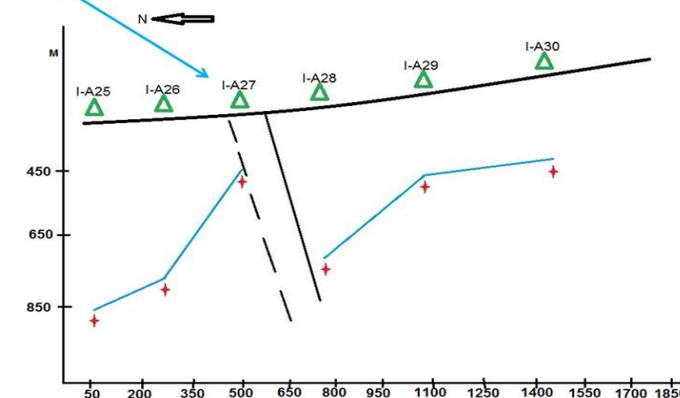
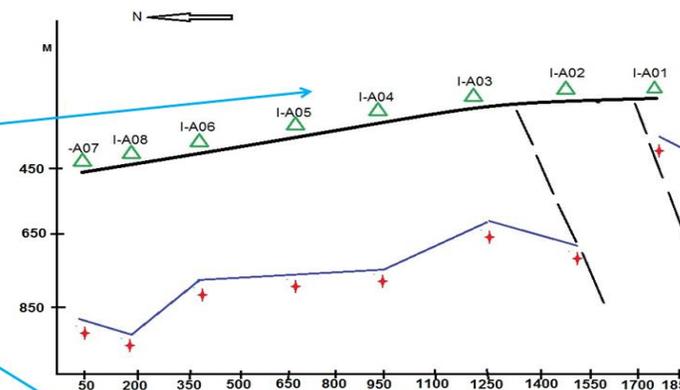
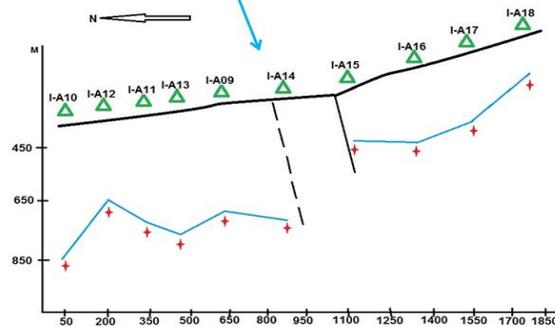
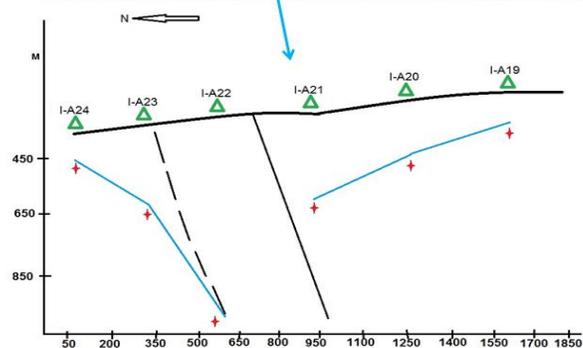
The depth profile along the shaded area



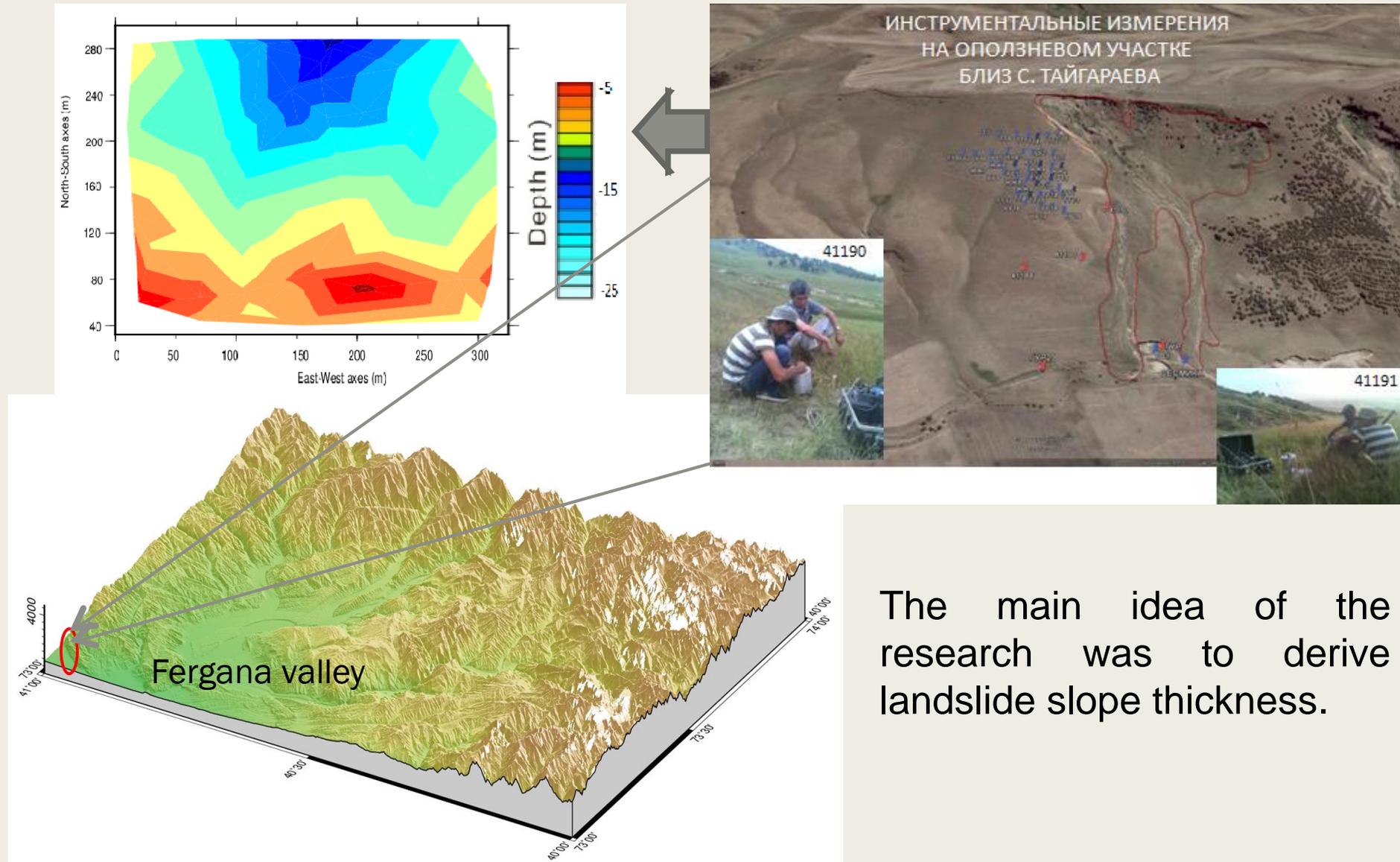
Seismic cross section profiling along the Issyk-Ata fault



Issyk-Ata Fault is located in the southern part of Bishkek



Seismic measurements on the landslide area

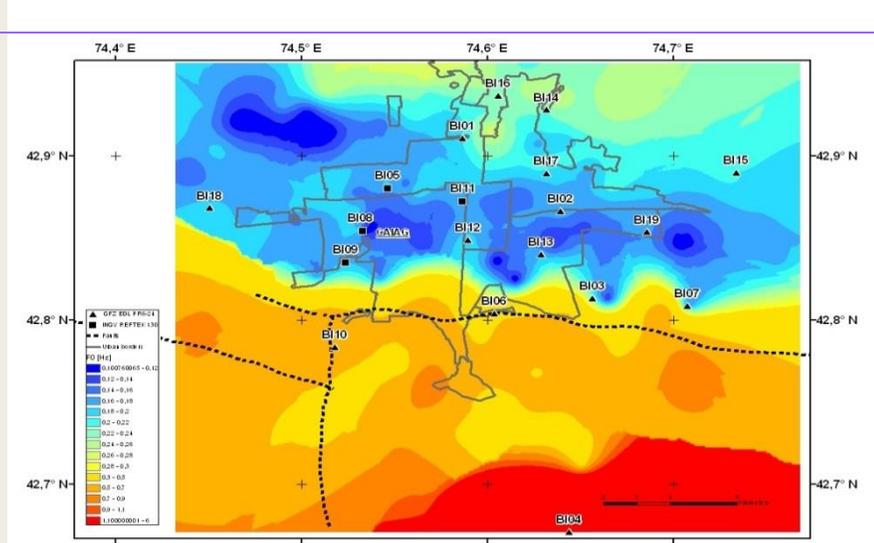


Оценка собственных периодов колебания зданий и грунтов по сейсмическим данным

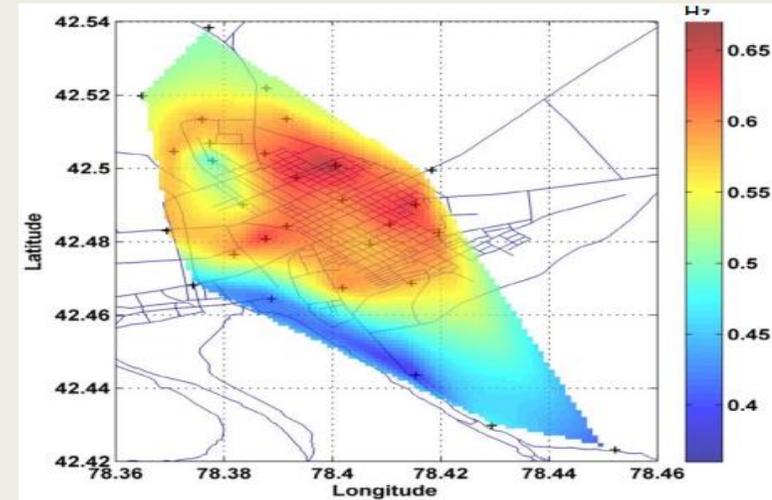
Близкие собственные периоды зданий и грунта угрожают резонансом, и как результат разрушением зданий при меньших сейсмических нагрузках

- Parolai S, Orunbaev S, Bindi D, Strollo A, Usupayev S, Picozzi M, Di Giacomo D, Augliera E, Milkereit C, Moldobekov B, Zschau J. (2010) Site effect assessment in Bishkek (Kyrgyzstan) using earthquake and noise recording data. Bull. Seism Soc of Am 100, 3068–3082.
- Ullah S., Bindi D., Pittore M., Pilz M., Orunbaev S., Moldobekov B., Parolai S. (2012). Improving the spatial resolution of ground motion variability using earthquake and seismic noise data: the example of Bishkek (Kyrgyzstan), Bull Earthquake Eng, DOI 10.1007/s10518-012-9401-8
- Orunbaev S., Pilz M, Usupaev S., Bindi D., Serenkov A., Mambetaliev E., Verjee F., Moldobekov B. and Parolai S., Site Effect Assessment In Naryn (Kyrgyzstan) Using Earthquake And Noise Data // A joint event of the 15th European conference on Earthquake engineering & 34th General Assembly of the European Seismological commission, ESC2014, www.2eceedistanbul.org 24-29 August 2014, ICEC – Istanbul / TURKEY
- Orunbaev S.J., Determining shear wave velocity using microtremor in Naryn city, Kyrgyz Republic // Annual of IISEE, 2016, Tokyo, Japan

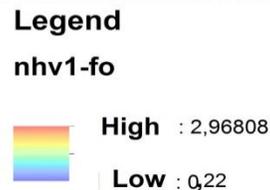
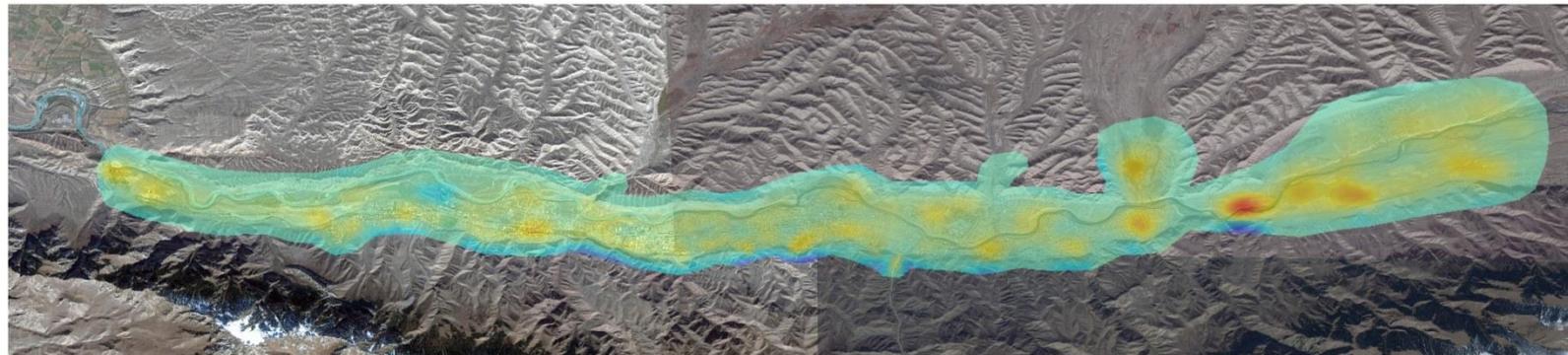
Site effect assessment results (GFZ 7.1. section with Dr. S. Parolai)



Site effect assessment of Bishkek (resonance frequency)



Site effect assessment of Karakol (resonance frequency, by H/V)



Site effect assessment of Naryn (resonance frequency, by H/V)

Проведены измерения на более чем 150 зданий по территории г. Бишкек



Взаимодействие грунт-здание (soil-structure interaction),

новое направление изучения откликов передачи сейсмических волн от грунта к зданию и обратно от здания к грунту

Реализован совместно с коллегами из GFZ, Потсдам, Германия

Данное время проект открыть для дальнейшего исследование

С целью создание системы раннего оповещения о землетрясении в Кыргызстане были установлены локальных и региональных сейсмических сетей в тесном сотрудничестве между ЦИЗ, Потсдам и ЦАИИЗ.

1. Локальная сейсмическая сеть в Бишкеке.
2. Региональная сейсмическая сеть для раннего оповещения о землетрясениях
3. Система мониторинга «Динамика взаимодействия грунтов и строений при сейсмических событиях»

Кроме основной цели, поставлены разные задачи.

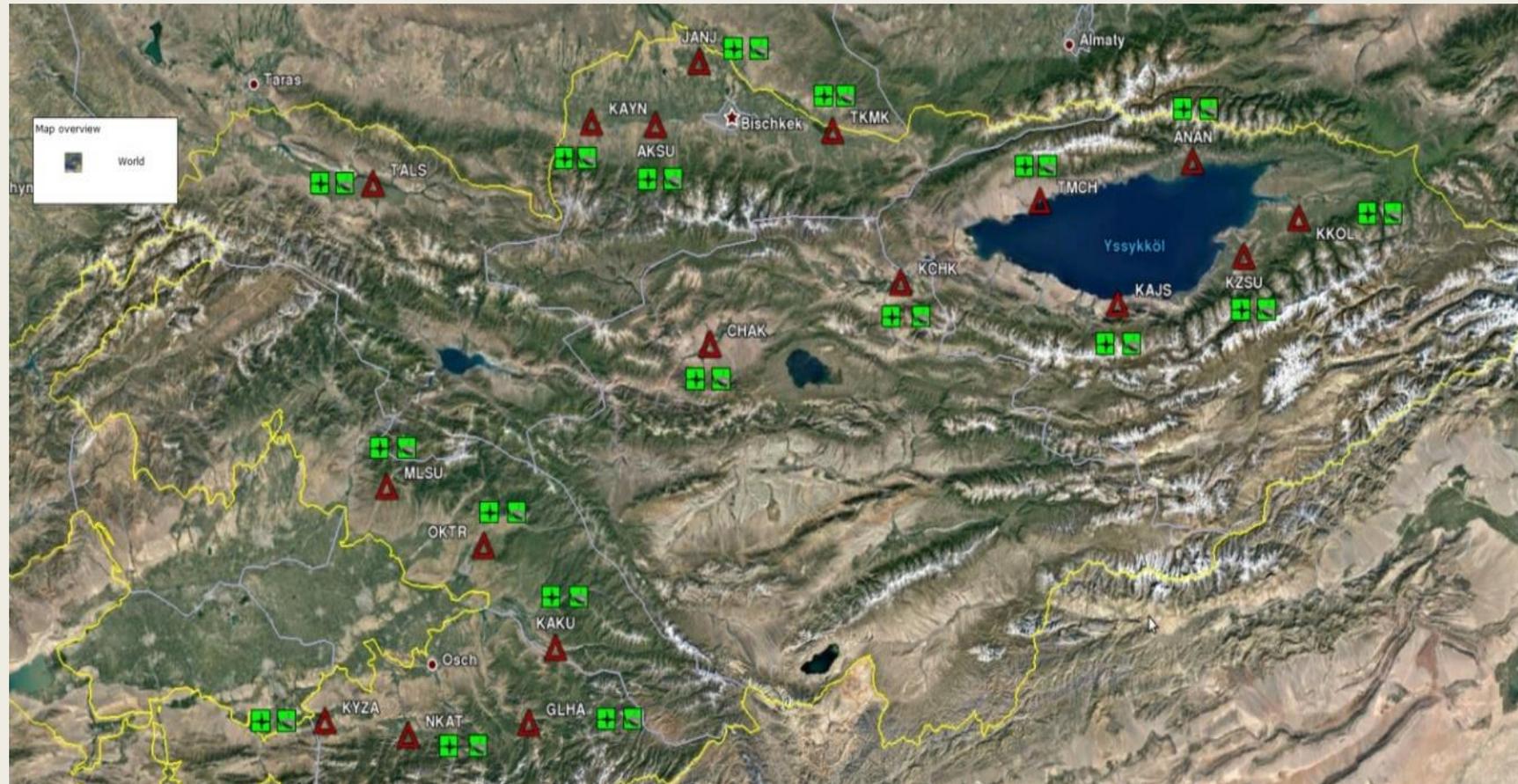
- Определение уравнение затухания для разных районов Кыргызстана.
- Определение уязвимости здания для разных типов зданий по г. Бишкек
- Определить динамических параметров и взаимодействие грунт и зданий при разных землетрясениях.

Региональная сейсмическая сеть для раннего оповещения о землетрясениях

Цель – региональная сеть в системе раннего оповещения о землетрясении.

Поставленная задача.

- Определение уравнение затухания для разных районов Кыргызстана.



Сейсмическая сеть акселерометрических станций

Система мониторинга «Динамика взаимодействия грунтов и строений при сейсмических событиях»

Цель – локальная сеть при создании системы раннего оповещения о землетрясении.

Поставленная задача.

- Определить динамических параметров и взаимодействие грунт и зданий при разных землетрясениях.

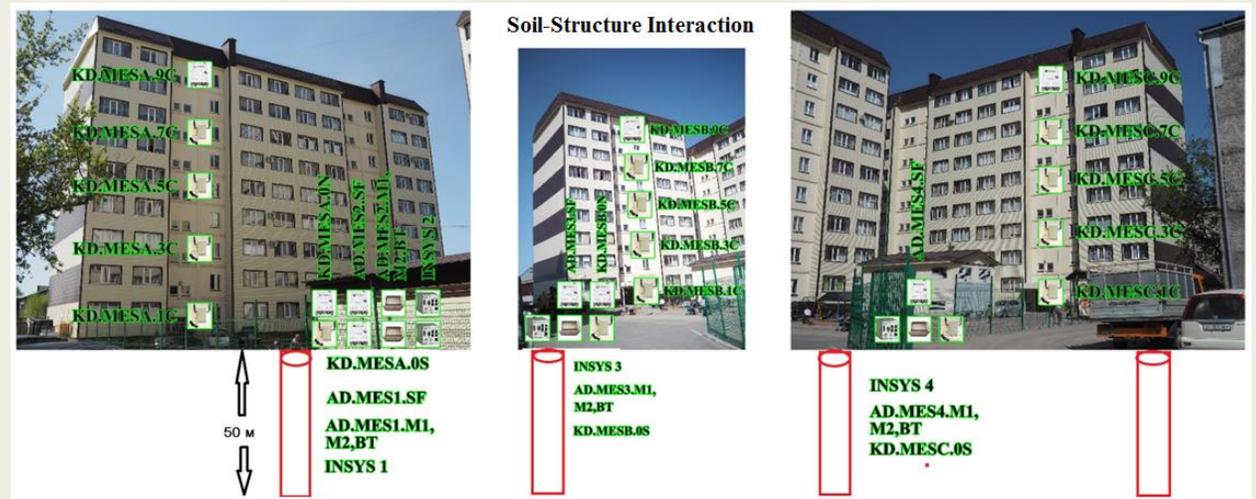


Схема установки сети акселерометров в скважинах (красные цилиндры) и в зданиях.

Многопараметрический мониторинг и оценка риска гидроэлектрических плотин (MI-DAM)

Проект осуществляется консорциумом из 4 немецких партнеров: GFZ - Немецкий исследовательский центр геонаук, Потсдам, Технический Университет Берлина (ТУБ), Alberding GmbH, Вильдау и Airbus Defense and Space GmbH, Потсдам. Местными партнерами в Кыргызстане являются Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ) и государственная корпорация «Электрические станции», эксплуатирующая все электростанции в стране.

Целью проекта MI-DAM направлена на разработку, установку и тестирование надежной, экономически эффективной и гибкой системы мониторинга для Курпсайской ГЭС в Кыргызстане

Согласно рабочему плану были установлены сеть датчиков - оптоволоконных, -GNSS, -сейсмических. Все установочные работы завершены 2019 году.

Сеть волоконно-оптических тензодатчиков.

Целью оснащение сооружения с сетью волоконно-оптических датчиков является долговременный мониторинг размеров зазоров между блоками.

Поставленная задача – определение имеющих зазоров при эксплуатации ГЭС (возникающих во время землетрясения, восполнение резервуара и т.п.)

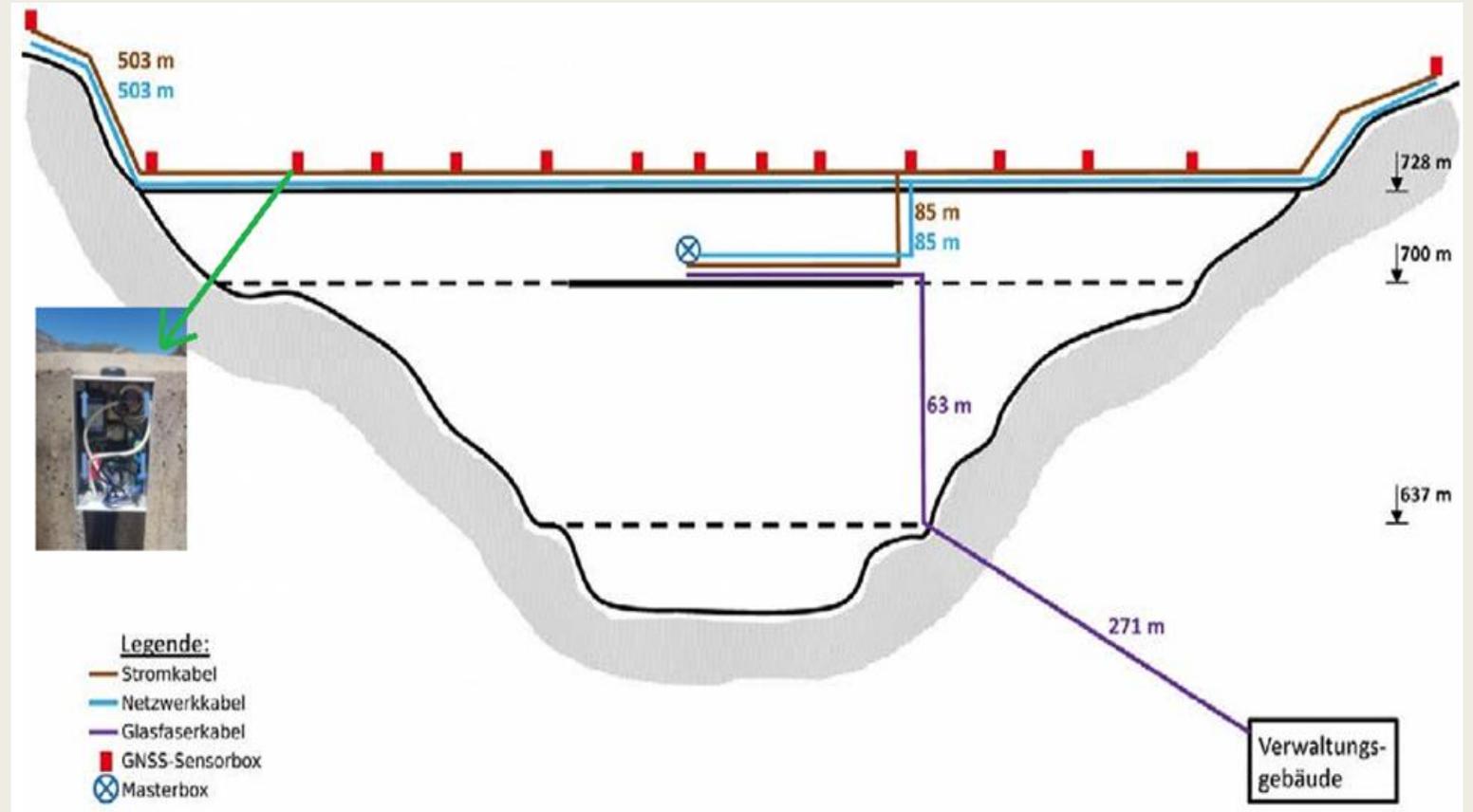


Обзорная схема измерительного оборудования

Мониторинг сооружения с помощью сетью датчиков GNSS.

Целью оснащение сооружения с сетью GNSS датчиков является поверхностный мониторинг смещения блоков.

С этой целью вдоль плотины Курпсайской ГЭС (Кыргызстан) установлено 15 сенсорных блоков с датчиками GNSS производимой компанией Alberding GmbH.



Схематический профиль кабельной проводки к GNSS датчикам (красные пункты)

Сейсмический мониторинг плотины

Сейсмическая сеть состоит из девяти устройств MPwise (многопараметрическая беспроводная сенсорная система), соединенных с геофонами-велосиметрами.

Целью является определение собственных период колебаний сооружения и мониторинг плотины при воздействии разных землетрясений.

С этой целью вдоль плотины Курпсайской ГЭС (Кыргызстан) установлен 9 геофон с устройством MPwise.

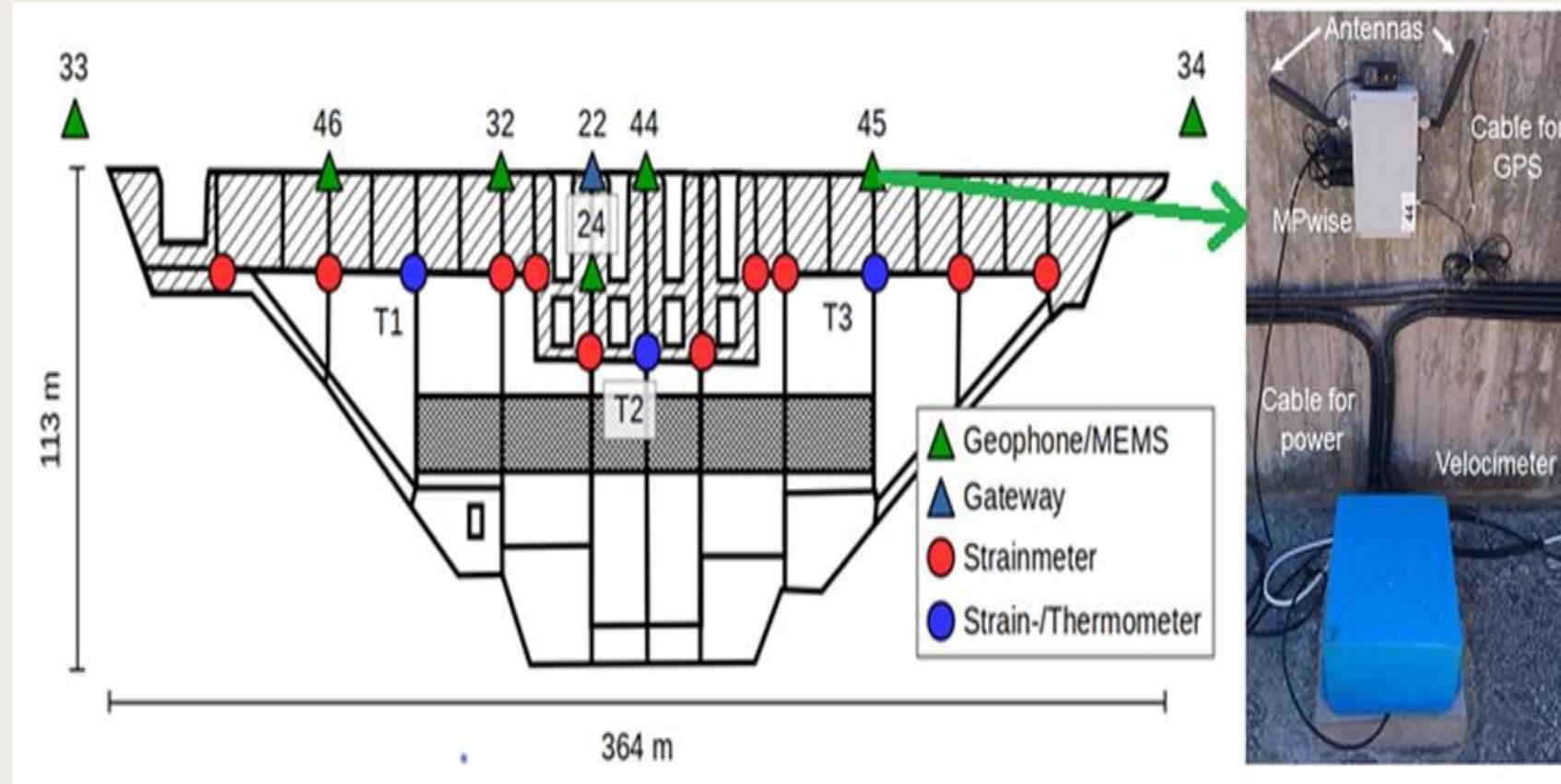
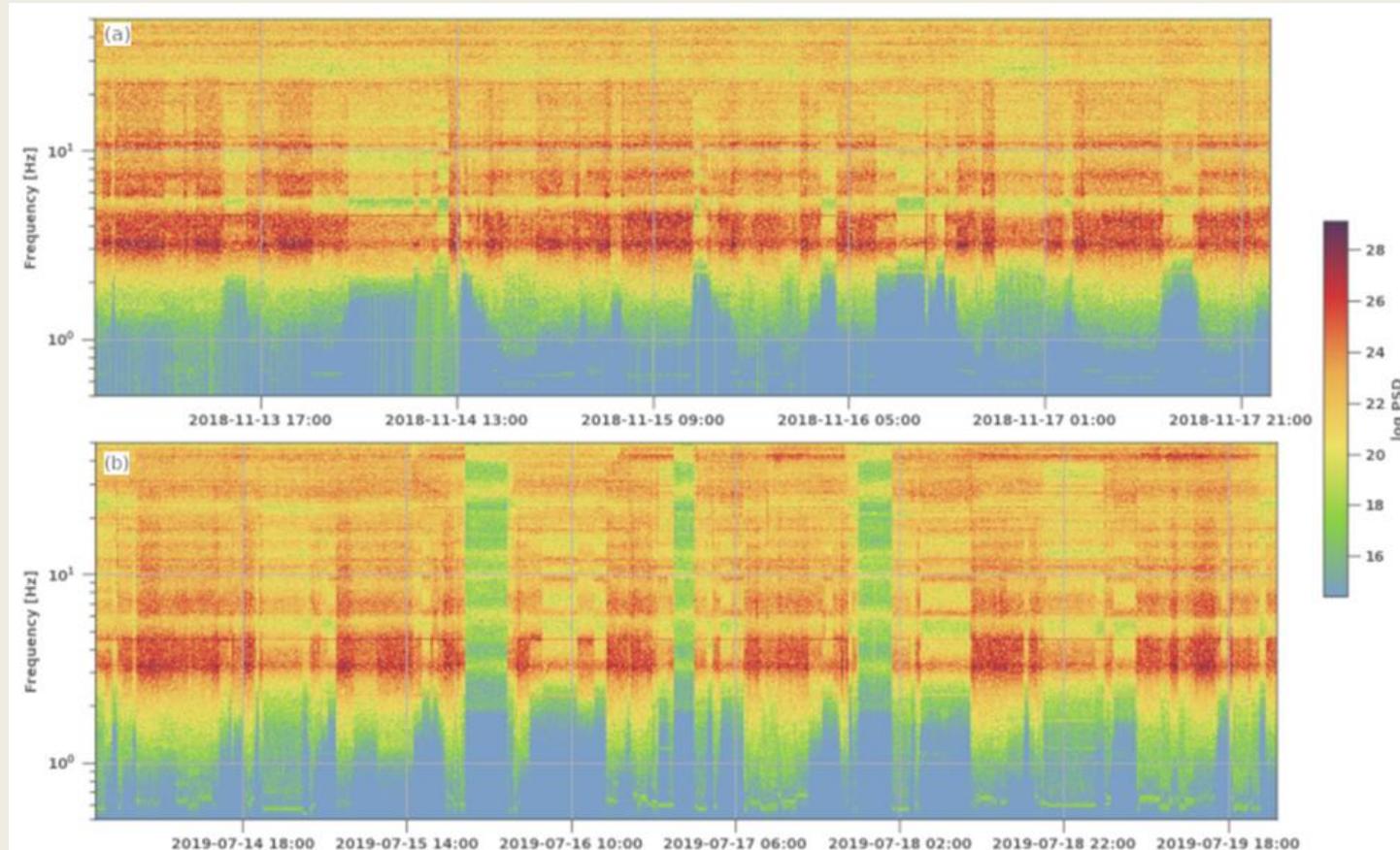


Схема расположения блоков регистрации сейсмических данных MPwise, датчиков температуры и оптических тензометров, установленных на плотине.

Сезонный анализ.

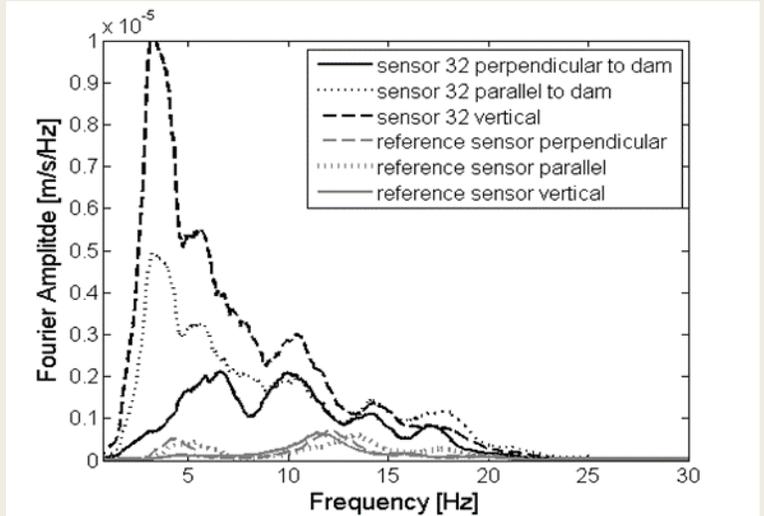
Спектрограммы, охватывающие 5-дневный период (а) зимой 2018 года и (б) летом 2019 года



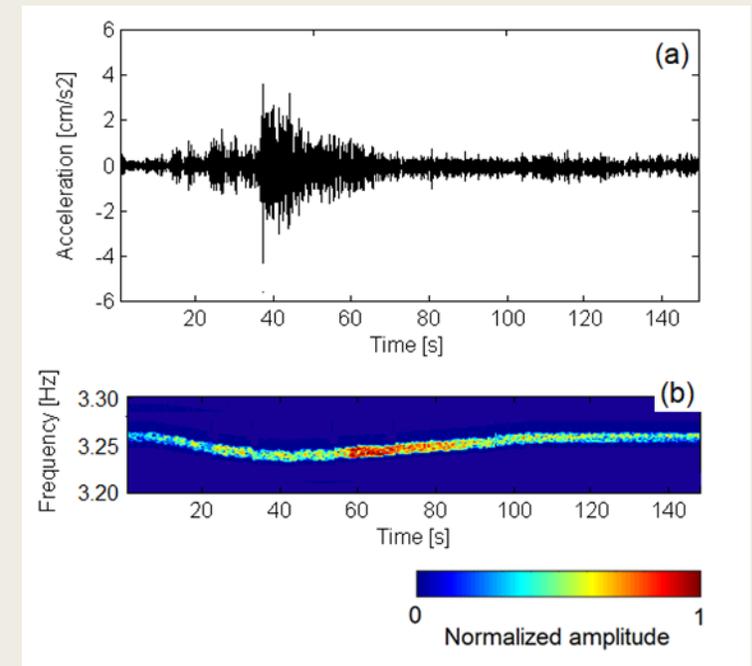
Анализ событий.

(а) Временная диаграмма (север-юг, т. е. перпендикулярно гребню плотины) события с $M=03.5$, 17 октября 2018 года по данным датчика, установленного на плотине. (б) Изменение основной резонансной частоты

Анализ сейсмического шума.



Частотные колебания плотины с 30 минутной окружающей сейсмического шума.



Реакция разных типов зданий на землетрясения (на примере г. Бишкек); восемь типовых конструкций оснащены акселерометрами на разных этажах зданий. Оценка уязвимости зданий при разных землетрясениях

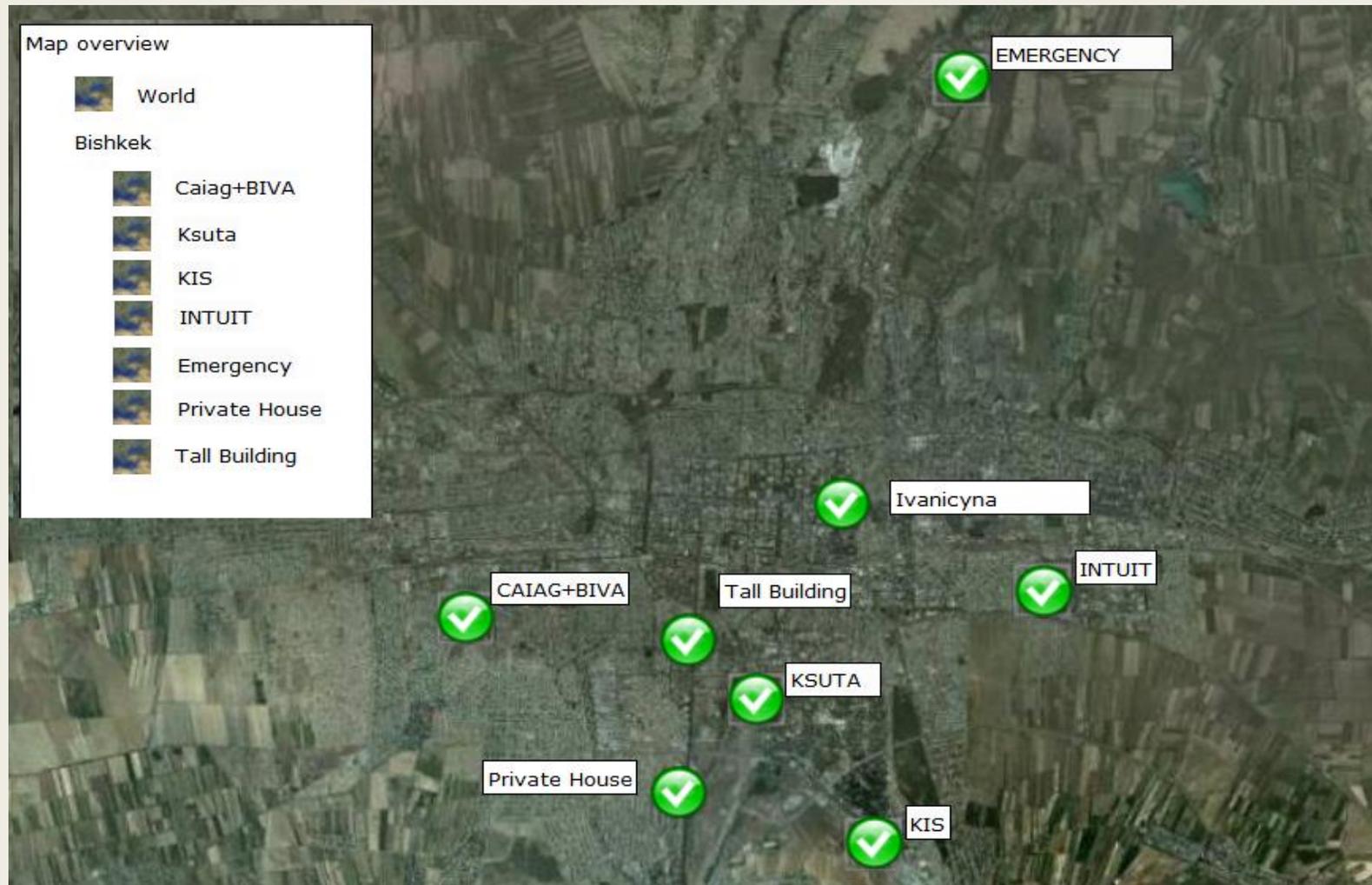
- Tobias Boxberger, Marco Pilz, Sagynbek Orunbaev, Massimiliano Pittore, Kevin Fleming, Claus Milkereit, Stefano Parolai, Dino Bindi, Noch Sekunden bis zu Erschütterung: Ein Erdbebenfrühwarnsystem für Bishkek. // System Erde (2013) 3, 2 | DOI: 10.2312/GFZ.syserde.03.02.3
- Dino Bindi, Tobias Boxberger, Sagynbek Orunbaev, Marco Pilz, Jacek Stankiewicz, Massimiliano Pittore, Iunio Iervolino, Enrico Ellguth, Stefano Parolai, On-site early-warning system for Bishkek (Kyrgyzstan) // ANNALS OF GEOPHYSICS, 58, 1, 2015, S0112; doi:10.4401/ag-6664
- Petryna Y., Bindi D., Petrovic B., Orunbaev S., Sheraliev T., Mostböck A., Begaliev U., Dynamic response of buildings in Bishkek using ambient vibration and finite element modeling // (2014) 10-year anniversary of CAIAG, Remote and Ground-based Earth Observations in Central Asia
- B. Petrovic, D. Bindi, M. Pilz, M. Serio, S. Orunbaev, J. Niyazov, F. Hakimov, P. Yazunov, U. Begaliev, S. Parolai, Building Monitoring in Bishkek and Dushanbe by Using Ambient Vibration Analysis // ANNALS OF GEOPHYSICS, 58, 1, 2015, S0110; doi:10.4401/ag-6679
- Орунбаев С.Ж., Мендекеев Р.А., Молдобеков Б.Д., Родкин М.В., Сравнительный анализ результатов микросейсмических и вибро-сейсмических испытаний здания (на примере типового частного жилого дома) // Вопросы инженерной сейсмологии, Т45, №1, Москва, 2018, с. 49-58.

Локальная сейсмическая сеть в Бишкеке.

Цель – как локальная сеть в системе раннего оповещения о землетрясении.

Поставленная задача.

- Определение уязвимости здания для разных типов зданий по г. Бишкек



Локальная сейсмическая сеть (SOSEWIN) в Бишкеке.

Оценка величин максимальных воздействий по макросейсмическим (палеосейсмическим) данным

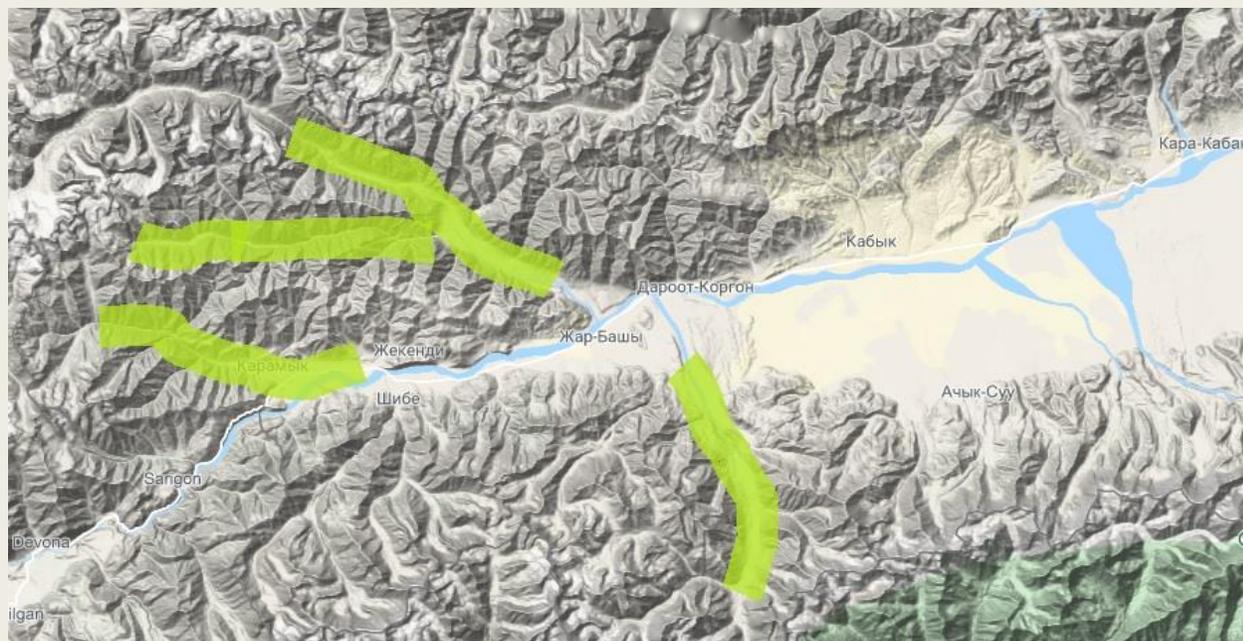
Совместно с д.ф.-м.н. Родкином М.В., ИТПЗ РАН

- Rodkin M. V. and Orunbaev S. Zh., Assessment of Earthquake Hazard from Data on Displacements of Bedrock Blocks: The Alai Valley, Kirgizia // ISSN 0742-0463, Journal of Volcanology and Seismology, 2022, Vol. 16, No. 1, pp. 67–80. © Pleiades Publishing, Ltd.
- Родкин М.В., Корженков А.М., Орунбаев С.Ж., Опыт оценки максимальных массовых скоростей в очаговых зонах сильных землетрясений по смещениям скальных отдельностей на примере некоторых районов Киргизии // Вопросы инженерной сейсмологии, 2015, ISSN 0132-2826, Т-42, №4, стрю 25-36, УДК 550.3,
- Орунбаев С.Ж., Родкин М.В., Абдывапов Н.А., Опыт Применения Некоторых Новых Методов Оценки Сейсмической Опасности В Киргизии // Седьмого Международного симпозиума Проблемы Геодинамики И Геоэкологии Внутриконтинентальных Орогенов, г. Бишкек, Киргизия 19–23 июня 2017 г.
- Горшков А.И., Писаренко В.Ф., Родкин М.В., Н.Т.Лы, Н.Х.Туен, С.Ж.Орунбаев. Старые и новые подходы к проблеме оценки долгосрочной сейсмической опасности // Сергеевские чтения, выпуск 18, москва, рудн, 2016, 135-140.

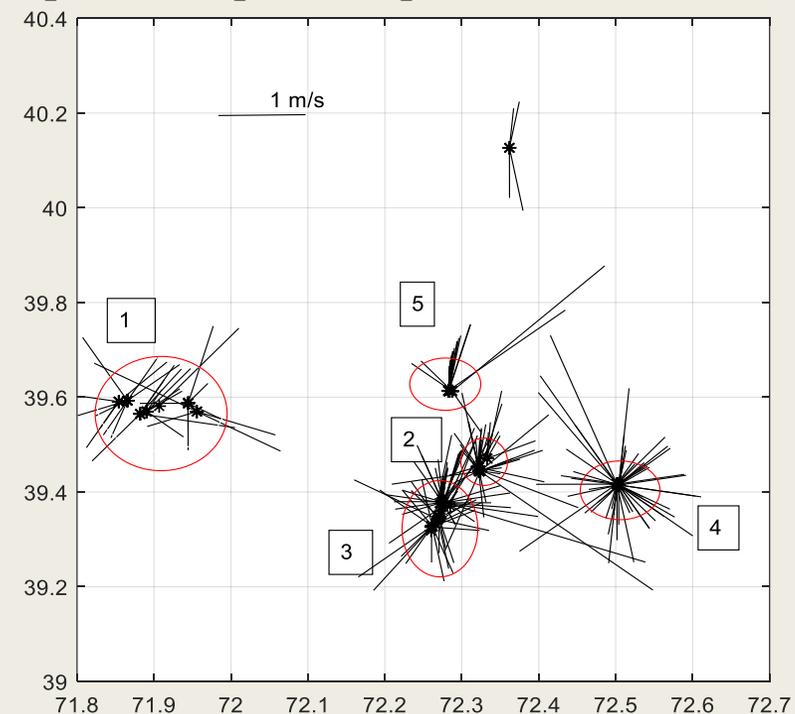
Оценка сейсмической опасности населенных пунктов Алайской долины

В нашем исследовании были изучены места, где скалы (камни) смещены с их первоначального местоположения в результате прошлого землетрясения. Направление и размер смещения дают информацию о соответствующей интенсивности прошлого землетрясения и, таким образом, информацию об опасности.

Применен метод PGVEM для оценки долговременной сейсмической опасности в сейсмически высокоактивной Алайской долине. PGVEM - метод оценки пиковых значений скорости грунта по данным полевых измерений предположительно в сейсмогенно смещенных образцах горных пород



Маршруты исследования (зеленый) по методу PGVEM
в Алайских хребтах.



Расположение, величина и направления
импульсов скоростей PGV.

Полученные результаты

Осредненные характеристики по всем пяти группам

Число смещений	Широта, N	Долгота, E	Высота, м	PGV, $Q_{0.5}$, см/с	PGV, $Q_{0.8}$, см/с
34	38.58	71.9	2770±76	90	140
38	39.45	72.32	2975±120	80	90
73	39.35	72.27	3076±70	90	130
53	39.42	72.50	3450±29	100	130
33	39.61	72.28	2910±23	80	105

Значения скоростей, ускорений и финальных смещений грунта при различной сейсмической интенсивности I (баллы)

I	5	5.5	6.0	6.5	7.0	7.7	8.0	8.5	9.0	9.5
PGV, см/с	1.3	2.2	3.8	6.5	11	19	33	57	98	170
PGA, см/с ²	17.5	28	44	70	110	175	280	440	700	1100
PGD, см	1.4	3.0	6.6	14	32	70	150	330	720	1600

Район исследование различается на 0.5-1 балла ожидаемого сейсмической интенсивности.

1.6. Оценка сейсмической опасности в населенных пунктах Алайской долины

Изучение V_s30 - усиления сейсмических волн в грунтовом слое - важно для оценки сейсмической опасности и понимания усиления структуры грунта.

При строительстве безопасных жилых домов и инфраструктур становится важным учитывать условия местности, используя среднюю скорость поперечной волны в верхних 30 м толщах грунта (V_s30).

В данном исследовании мы проанализировали скорость поперечной волны (V_s) в нескольких (7 точек) точках Алайской долины с использованием метода пространственной автокорреляции с записями микротремора, в селах Карамык, Жар-Башы, Жекенди, Шибе, Дароот-Коргон, Кабык и Ачык-Суу



Населенные пункты проведенные сейсмические записи (микротреморы) на определение V_s30 .

Усредненная скорость V_{s30} для всех населенных пункт.

Типы грунтов NEHRP на основе скорости поперечной волны на высоте 30 м.

Soil Types	Rock/ Soil Description	Average shear wave velocity (V_{s30}) m/s
A	Hard rock	> 1500
B	Rock	760-1500
C	Dense soil/soft rock	360-760
D	Stiff soil	180-360
E	Soft soil	<180
F	Special soils requiring special evaluation	

Анализируя рассчитанный V_{s30} , можно утверждать, что грунты в населенных пунктах северной части Алайской долины более устойчивые и прочные, чем в населенных пунктах расположенных в южной части.

Нас. пункт	Прод. записи, час	Грунты стратиграфического профиля	Сред. зн., V_{s30} , м/с	V_{s30} , м/с
Карамык	2	Крупнообломочные грунты всех видов с содержанием заполнителя более 30 %.	$270 \leq V_{s30} < 550$	510
Жекенди	1,5	Скальные грунты выветрелые с маломощным (до 5 м) покровом рыхлых отложений.	$550 \leq V_{s30} < 800$	560
Шибе	1,5	Пески гравелистые крупные и средней крупности плотные независимо от степени водонасыщения.	$270 \leq V_{s30} < 550$	470
Жар-Башы	2	Пески гравелистые крупные и средней крупности плотные независимо от степени водонасыщения.	$270 \leq V_{s30} < 550$	480
Дароот-Коргон	2	Крупнообломочные грунты всех видов с содержанием заполнителя более 30 %.	$270 \leq V_{s30} < 550$	540
Кабык	1,5	Скальные грунты выветрелые с маломощным (до 5 м) покровом рыхлых отложений.	$550 \leq V_{s30} < 800$	550
Ачык-Суу	1,5	Крупнообломочные грунты всех видов с содержанием заполнителя более 30 %.	$270 \leq V_{s30} < 550$	470

Спасибо за внимание!