

Объявленные ранее цели Проекта

1. Создание электронного архива для хранения экспериментальных данных геологических, электромагнитных, сейсмологических и геодезических наблюдений, выполненных на территории Бишкекского геодинамического полигона.
2. Разработка методики и ее программной реализации для комплексного анализа и интерпретации накопленных экспериментальных геолого-геофизических материалов.
3. Построение комплексных геофизических моделей различного пространственного масштаба для исследуемого объема геосреды.
4. Детальное структурно-геологическое картирование на участках проявления оползневых процессов.
5. Сопоставление полученных геофизических образов земной коры с геолого-тектоническим строением района исследования.
6. Анализ материалов комплексного геодинамического мониторинга Северного Тянь-Шаня:
 - вариации электрических параметров земной коры;
 - современные движения поверхности земной коры;
 - пространственно-временное распределение сейсмических событий.
7. Выявление геодинамических характеристик среды в полученных вариациях параметров различных геофизических полей для территории Бишкекского геодинамического полигона.
8. Исследование геологических предпосылок возникновения оползневых процессов и роли тектонической активности региональных структур в локализации оползней.
9. Изучение взаимосвязи современных опасных геологических процессов с тектоническими структурами и геодинамическими процессами в земной коре на исследуемой территории.
10. Подготовка научной статьи в рецензируемый журнал и заключительного отчета о НИР.

Полученные в ходе выполнения Проекта важнейшие результаты

1. Создан и поддерживается электронный архив для хранения экспериментальных данных геологических, электромагнитных, сейсмологических и геодезических наблюдений, выполненных на территории Бишкекского геодинамического полигона.
2. Разработана методика и ее программная реализация для комплексного анализа данных магнитотеллурического мониторинга.
3. Построены геофизические модели различного пространственного масштаба для исследуемого объема геосреды.
4. Проведена дополнительная локализации участков оползневых процессов, проявившихся в течение исторического периода, и рассмотрены геологические предпосылки их развития в будущем на основе полученных результатов структурно-геологических исследований и геоморфологического анализа детальных космических снимков предгорий Киргизского хребта в районе Бишкекского геодинамического полигона. Установлено, что помимо состава приповерхностных отложений важную роль в динамике оползневых процессов играют факторы современной тектонической активности разломов и возникновения тектонически дезинтегрированных пород (кластитов).
5. Проведено сопоставление полученных геофизических образов земной коры с геолого-тектоническим строением района исследования.
6. В результате интерпретации материалов мониторинговых наблюдений электромагнитными методами на территории БГП выявлена зависимость аномальных изменений кажущегося электрического сопротивления от локализации гипоцентров близких землетрясений, а также отмечено значимое влияние деформационных процессов земной коры, связанных с гравитационными приливными воздействиями, на регистрируемые магнитотеллурические параметры. Предложен новый подход к представлению результатов корреляционного анализа данных магнитотеллурического

мониторинга в системе полярных координат. На корреляционных полярных диаграммах выделяются области (кластеры) устойчивой корреляции, которые являются интегральной мерой взаимосвязи вариаций электромагнитных параметров с деформациями дневной поверхности. При этом положение кластеров на корреляционных полярных диаграммах связано с геоэлектрической структурой пункта наблюдения и соответствует ориентации основных тектонических элементов в окрестности этого пункта.

7. По результатам наблюдений методами космической геодезии выделены сегменты геодинамической активности разломных зон Северного Тянь-Шаня и сделаны оценки в отношении характеристик аномальных деформационных проявлений и их генетических факторов на локальных площадках геодезических измерений.

8. На качественном уровне определены структурно-тектонические критерии оценки оползневой неустойчивости склонов на примере территории отдельного района Бишкекского геодинамического полигона (долина р. Чункурчак). Основу этих критериев составляют следующие факторы:

- присутствие оползневых структур, в основном, в областях распространения палеогеновых красноцветов;
- наличие глинисто-карбонатных пород в основании чехла и водоносность базальных горизонтов чехла;
- приуроченность оползней к участкам, где наклон контакта "фундамент-чехол" составляет $8-15^{\circ}$ и примерно совпадает с направлениями склонов рельефа;
- достаточная мощность осадочных пород, перекрывающих красноцветный палеогеновый комплекс;
- связь склоновых процессов с геодинамической активностью и структурными особенностями разломных зон на примере Аламединского разлома.

9. Сделаны выводы о геодинамической природе и возможных механизмах опасных геологических процессов на территории Северного Тянь-Шаня на основе результатов анализа взаимосвязи современных опасных геологических процессов с тектоническими структурами и геодинамическими процессами земной коре региона. Отмечено, что на участках локализованных относительных смещений блоков - в зонах разломов - тектоническая дезинтеграция пород максимальна, что отражает раздробленность и дискретную неотектоническую подвижность палеозойского (преимущественно гранитоидного) фундамента. Учитывая, что зоны милонитизации и фильтрации поверхностных и ювенильных флюидов по главным и второстепенным разломам могут играть роль смазки между относительно более прочными блоками пород, в зонах живых разломов возникают условия для развития обвально-оползневых процессов.

10. Подготовлена итоговая научная статья «Современная геодинамическая активность земной коры Северного Тянь-Шаня и опасные геологические процессы» в рецензируемый журнал «Вестник КРСУ» (г. Бишкек) совместно с зарубежными участниками проекта.

Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем

Впервые в мире для изучения современной геодинамической активности литосферы региона, который характеризуется многочисленными проявлениями опасных геологических процессов, предпринята попытка привлечения в комплексный анализ и обобщение такого обширного материала геолого-геофизических исследований, как с точки зрения объема данных, так и набора применяемых методов. В настоящее время только Бишкекский геодинамический полигон с его научно-технической базой и системой геолого-геофизических наблюдений является единственной площадкой в мире, где возможно качественно провести такие комплексные геодинамические исследования.

Методы и подходы, использованные в ходе выполнения Проекта (описать, уделив особое внимание степени оригинальности и новизны)

1. Комплексный анализ материалов исследований проекта связан с огромными объемами разнородных данных. Для успешного и оперативного выполнения комплексного анализа наблюдаемых данных необходимо обеспечить их четкую

структуризацию, необходимую, прежде всего, для того, чтобы эффективно извлекать нужные данные из электронного архива. При таком подходе структуризация архива производится исходя из представлений о составе типовых запросов. Типовые запросы включают, как правило, тип данных, название пункта в котором получены данные, тип прибора, показания которого включены в архив, параметры и условия регистрации данных, а также идентификатор оператора. Поэтому при создании архива необходимо разделить его на разделы, соответствующие различным уровням представления данных, а в каждом из них выделить подразделы, которые содержат наборы данных, относящиеся к конкретному виду наблюдений и пункту, в котором эти наблюдения выполнялись. В этом случае будет обеспечен наиболее эффективный (с точки зрения временных затрат) поиск и извлечение данных из архива. При такой организации архива сокращаются затраты на его поддержание. При создании архива следует предусмотреть сохранение его резервной копии.

Рассмотрим некоторые вопросы создания и поддержания электронного архива экспериментальных данных комплексных наблюдений, выполненных на территории Бишкекского геодинамического полигона. Основными функциями электронного архива являются:

- обеспечение средств ввода и долговременного хранения наборов экспериментальных геофизических данных и результатов их обработки;
- предоставление потенциальным потребителям всей необходимой информации о наличии наборов геофизических данных в архиве, а также о состоянии и оперативных планах экспериментальных работ (с помощью Интернета в режиме реального времени);
- обеспечение недискриминационного распределения данных по заказам потребителей геолого-геофизической информации;
- обработка, интерпретация и комплексный анализ всех наборов архивных данных;
- каталогизация всех архивных наборов данных.

Технические характеристики электронного архива:

- ввод и регистрация наборов экспериментальных данных электрического поля и сопроводительной информации объемом в бинарном формате до 200 Мбайт в сутки;
- ввод и регистрация наборов экспериментальных электромагнитных и геомагнитных данных и сопроводительной информации объемом в бинарном формате до 20 Мбайт в сутки;
- разархивирование исходных данных электрического поля и до 1,5 Гбайт в сутки;
- подготовка наборов данных по заказам пользователей (до 5 Гбайт в день);
- обработка экспериментальной информации с производительностью до 300 МИФ;
- обеспечение доступа к серверам ИС РАН со скоростью не менее 10 Мбит/с;
- обеспечение доступа к ресурсам Интернета по каналу с пропускной способностью 100 Мбит/с;
- обеспечение хранения информации в течение 15 лет.

Технические параметры инфраструктуры архива позволяют осуществлять ввод и обработку данных в автоматизированном режиме – до 1 Гбайт исходных данных в сутки. Суммарная емкость жесткой памяти центрального сервера - 27 Тбайт.

2. Рассмотрим разработанную методику комплексного анализа данных магнитотеллурического (МТ) мониторинга. Основной задачей МТ-мониторинга является выделение динамических (изменяющихся) параметров электрических свойств среды, в связи с чем, возникает необходимость выявления и анализа достаточно малых пространственно-временных вариаций электропроводности [Рыбин и др., 2011; Баталева, Баталев, Рыбин, 2013]. При этом, во-первых, из полученных сигналов нужно выделить информативную часть, несущую в себе именно те изменения электропроводности, которые вызваны напряженно-деформированным состоянием среды. Во-вторых, постараться определить, чем были вызваны изменения электрических свойств и какой вклад вносят – лунно-солнечные приливы, изменение влагонасыщенности среды, изменение системы трещин и т.д. [Баталева, Рыбин, Баталев, 2014]. Традиционная методика интерпретации данных МТ-мониторинга не позволяет в полной мере

использовать его возможности, что сдерживает эффективное применение традиционного подхода для решения поставленной задачи.

Предлагаемая методика, основной целью которой является получение надежных оценок характеристик вариаций электрического сопротивления и их комплексный анализ, состоит в выполнении следующих процедур:

- вычисление вариаций кажущегося сопротивления и фазы импеданса по 12-ти азимутам, в интервале периодов от 0.01 до 10 сек (длительность временных рядов на пункте наблюдения должна составлять не менее 70 часов) (рис.1);
- расчет корреляции вариаций сопротивления и фазы импеданса с компонентами лунно-солнечных приливов в зависимости от периода зондирования и азимута (рис.2);
- сопоставление приливных воздействий с псевдоразрезами вариаций электросопротивления с целью анализа отклика вариаций электропроводности на упругие деформации земной коры от лунно-солнечных приливных воздействий (рис.3).

Для определения зависимости вариаций электропроводности от направления предлагается вычислять значения тензора импеданса и соответствующие вариации по произвольным азимутам.

$$\begin{aligned}Z_{xy}(\alpha) &= Z_{xy} \cos^2 \alpha - Z_{yx} \sin^2 \alpha - (Z_{xx} - Z_{yy}) \sin \alpha \cos \alpha \\Z_{yx}(\alpha) &= Z_{yx} \cos^2 \alpha - Z_{xy} \sin^2 \alpha - (Z_{xx} - Z_{yy}) \sin \alpha \cos \alpha\end{aligned}$$

где Z_{xx} , Z_{xy} , Z_{yx} , Z_{yy} - компоненты тензора импеданса $[Z]$ в направлении, соответствующим их первому индексу [Бердичевский и др., 1997]. Ориентация компонент импеданса соответствует ориентации компонент электрического поля.

α - угол поворота осей по часовой стрелке.

В результате обработки экспериментальных данных магнитотеллурического мониторинга, полученных на территории Бишкекского геодинамического полигона, было обнаружено большое количество фактов существования вариаций электропроводности с противоположными знаками на ортогональных азимутах, что, с нашей точки зрения, подтверждает гипотезу о перераспределении флюида в поровом пространстве при изменении напряженно-деформационного состояния среды. Ортогональные направления, по которым наблюдается одновременное увеличение и уменьшение электропроводности, согласно, могут быть идентифицированы как направления сжатия и растяжения, соответственно. Отметим, что такие вариации с противоположными знаками выявляются только в определенном (ограниченном) частотном диапазоне зондирования.

3. В качестве примера построенных геофизических моделей для исследуемой территории Бишкекского геодинамического полигона приведем описание геоэлектрического разреза профиля Туяк, полученного по данным электромагнитных зондирований. Такой разрез (до глубин 10 км) дает представления о структуре геоэлектрических слоев слагающих верхнюю часть земной коры.

Схема расположения региональных разломов и профиля Туяк представлены на рис. 4.

Построенный геоэлектрический разрез по профилю Туяк показан рис. 5.

В рассматриваемом разрезе профиля Туяк к северу от глубинного Шамси-Тюндюкского разлома породы кайнозоя мощностью 4 км имеют низкие сопротивления до 3 Ом*м. Сопротивления пород в палеозое имеют сопротивление 46 Ом*м. Палеозой во впадине представлен в основном гранитоидами палеозоя, имеющими высокие сопротивления. Аномально низкие сопротивления пород нижней части кайнозоя (2 Ом*м) экранируют влияние подстилающих пород палеозоя и не позволяют получить детальную информацию об истинном сопротивлении пород и мощности слоя палеозоя.

В породах палеозоя сопротивления 46 Ом*м в фундаменте Чуйской впадины на глубине 5 км расположен блок пород низкого сопротивления (до 5 Ом*м). По данным гравиметрии здесь породы представлены гранитами с высоким сопротивлением. Низкое сопротивление гранитов может быть объяснено их повышенной трещиноватостью и заполнением флюидами.

Породы палеозоя к югу от Шамси-Тюндюкского разлома имеют сопротивление 100-400 Ом*м и залегают в виде субвертикальной пластины уходящей на глубину 6 км.

Южнее пластины высокого сопротивления под Киргизским хребтом расположен блок низкого сопротивления менее 10 Ом*м, которые погружаются от 2 км на севере (пикет 111) до 4 км (пикет 108). Южнее пикета 111 расположен термальный источник, который в настоящее время закрыт селом. Мощность блоков достигает 1.5 км и они образуют «средний» слой. Южнее пикета 108 «средний» слой по ступени погружен и на пикете 96 залегают на глубине 8 км.

В районе Суекского разлома от «среднего» слоя вертикально вверх ответвляется блок низкого сопротивления 50 -10 Ом*м. Суекский разлом является также частью крупной зоны разлома, ограничивающей Киргизский хребет с юга.

В верхней части разреза, над «средним» слоем, к югу от Шамси-Тюндюкского разлома породы палеозоя имеют высокие сопротивления 500-5000 Ом*м.

Нижняя граница «среднего» слоя не везде прослеживается. В районе пикетов 91, 156 породы палеозоя имеют высокие сопротивления 900-5000 Ом*м.

По данным гравиметрии в фундаменте впадины распространены граниты, имеющие высокое сопротивление. Поэтому блоки пород с низким сопротивлением указывают на наличие в фундаменте впадины зон дробления и повышенной трещиноватости, которые заполнены флюидами.

Породы палеозоя непосредственно примыкающие с юга к Шамси-Тюндюкскому разлому имеют пониженные сопротивления как по активным электротондированиям, так и по МТЗ. Это указывает на то, что породы в зоне разлома трещиноваты, раздроблены и заполнены флюидами. Южнее этой зоны повышенной трещиноватости расположен блок пород с высоким сопротивлением (до 400 Ом*м), который представлен, по-видимому, гранитоидами. По данным МТЗ зона Шамси-Тюндюкского разлома круто погружается на глубину до 15 км под Киргизский хребет.

Построенные геоэлектрические разрезы различного пространственного масштаба для исследуемой территории Бишкекского геодинамического полигона позволили:

- выявить структуру слоев с различным сопротивлением;
- проследить в зоне сочленения Чуйской впадины с Киргизским хребтом глубинный Шамси-Тюндюкский разлом, который круто погружается под Киргизский хребет и входит в «средний» слой;
- выделить участки и линзы низкого сопротивления в гранитоидах палеозоя и метаморфических породах. Эти слои образуют «средний» слой низкого сопротивления, который сильно трещиноват и заполнен горячими флюидами;
- определить глубины залегания поверхности «среднего» слоя по разрезам.

4. Комплексный подход к решению поставленной задачи изучения геолого-тектонической структуры зоны сочленения Чуйской впадины и Киргизского хребта включал следующие методы исследования:

- Всестороннее изучение геологического строения исследуемой зоны на региональном и межрегиональном уровнях с привлечением полевых данных детального картирования.
- Изучение разномасштабных структурно-кинематических, морфоструктурных и структурно-вещественных парагенезов разных этапов тектонической эволюции.
- Морфоструктурный анализ форм современного и палеорельефа, с акцентированным изучением форм и закономерностей локализации проявлений оползневых процессов с привлечением материалов структурного дешифрирования дистанционных ландшафтных снимков.

(а) Зона сочленения Киргизского хребта и Чуйской впадины – Южно-Чуйская тектоническая зона - является крупным линейным структурным элементом горного сооружения Тянь-Шаня, определяющим структурно-формационную делимость земной коры и характер современной тектонической активности района исследования. Изучение геологического строения зоны на региональном уровне базировалось на анализе публикаций и отчетных материалов и на обобщении данных полевых исследований исполнителей проекта.

Установлено, что ранее выделенные в регионе Байтикский, Шамсинский, Чункурчакский и Аламединский разломы представляют собой гетерогенные флексурно-разломные зоны, выраженные на разных участках по-разному: разломными структурами, ступенями-террасами, расположенными на разном гипсометрическом уровне, локальными валами и впадинами, кулисно замещающими друг друга по простиранию. Зоны дислокаций разделяют менее деформированные домены, проявленные в рельефе в виде плато или террас. Главные неотектонические линейные зоны возникли и проявляли тектоническую активность в разное время. Каждая из выделенных флексурно-разломных зон на определенном этапе примерно совпадала с бортовым уступом впадины, но в течение других фаз активизации играла второстепенную роль.

Морфоструктурные исследования в пределах южного борта Чуйской впадины, направленные на реконструкцию вертикальных смещений поверхностей выравнивания, проводились ранее А.К.Трофимовым (1976), О.К.Чедия (1986), К.Е.Абдрахматовым (1988). Различные варианты корреляции террасных отложений нашли отражение на листах карт государственной геологической съемки в 1963-1991 гг. Опыт современных морфоструктурных и структурных исследований, проведенных на отдельных участках Бишкекского геодинамического полигона (Thompson и др., 2002; Bullen и др., 2003; Миколайчук и др., 2003; Современная геодинамика..., 2005), показал необходимость большей детальности и точности полевого изучения деформаций четвертичных террас и других кайнозойских поверхностей выравнивания при определении амплитуд и направлений новейших смещений. В процессе детальных работ изучались структурно-кинематические и морфоструктурные парагенезы, отражающие особенности кинематики деформаций и реологические свойства горных масс на разных этапах тектонической эволюции.

Проведенные нами исследования позволяют предполагать рассеянный характер смещений хрупко-пластичного характера в палеозойском фундаменте (преимущественно гранитоидном) в пределах широкой зоны предгорий. О характере и геометрии зон смещения можно судить по положению и перекосам алювиально-пролювиальных террас валунных отложений шарпылдакской свиты (N2-Q1) в районе расположения ИС РАН и по пластичным деформациям поверхности предолигоценного пенеплена в долине р. Чункурчак, где проводились детальные работы. На рассмотренных участках ордовикские граниты и гранодиориты интенсивно дезинтегрированы. При изучении шлифов обнаруживается различная степень микрогрануляции пород в пределах небольших доменов. В масштабе обнажений (на мезо-уровне) дезинтеграция проявляется в наличии веерообразных трещин, крутонаклонных слайс-структур, разномасштабных сфероидальных, линзообразных объемов, внутри которых сохраняются менее измененные разности пород. По системам трещин фиксируются сдвиговые, сдвиго-взбросовые и другие кинематические виды перемещений с незначительными амплитудами. В целом, степень дезинтеграции максимальна вдоль широтных региональных разломов сдвиго-взбросовой кинематики южного ограничения Южночуйской зоны активизации (Шамсинского, Чункурчакского) и постепенно, на расстоянии первых сотен метров – 1 км, убывает к северу и югу от них. При этом контакт «фундамент/чехол» на границе впадины часто остается стратиграфическим или незначительно тектонизирован. По региональным разломам, проявленным в осадочном чехле в пределах Чуйской впадины (Иссыкатынскому, Байтикскому и др.), отмечаются локализованные смещения надвигового типа и формирование валообразных складок, которые происходили начиная с конца плиоцена и продолжают на современном этапе. В отличие от разломов южного ограничения впадины, эти структуры предположительно являются бескорневыми структурами пропации напряжений и северного перемещения верхнекоровых масс южного борта впадины. Судя по морфологии систем кулисных разломов, дуплексов, аккомодационных диагональных сдвигов (например, Аламединского левостороннего сдвига) и данным геодезического мониторинга современных движений неотектоническая активизация Южно-Чуйской зоны происходила во взбросо-надвиговой обстановке с элементами левосторонней транспрессии на современном этапе.

Современное движение исследуемой территории может быть охарактеризовано следующими достаточно устойчивыми тенденциями. Для территории центральной части Бишкекской локальной GPS сети установлено, что современные движения земной коры за 1997–2011 гг. наблюдений зависят от сложившейся тектонической структуры района (Пржиялговский, Кузиков, 2014). При пересечении Южно-Чуйской зоны с юга на север от палеозойских пород (северный склон Киргизского хребта до Шамсинского надвига) через кайнозойский блок предгорий (до Иссыккатынского взброса) к области распространения четвертичных образований Чуйской впадины в среднем наблюдается уменьшение трех компонент скорости (в мм/год): северной (от 2.23 до 0.67), восточной (от -0.79 до -1.00) и вертикальной (от 1.01 до 0.05).

Таким образом, тенденция относительного сближения в широтном направлении блоков Южно-Чуйской деформационной зоны отмечается и по интегральным смещениям террас плейстоцен-голоценового времени и по многолетним геодезическим наблюдениям, характеризующим современный этап тектонической активности.

(б) В соответствии с планом работ было проведено детальное структурно-геологическое картирование на участках проявления оползневых процессов в пределах Бишкекского геодинамического полигона. Структурно-геологическим полевым исследованиям предшествовал геоморфологический анализ детальных космических снимков предгорий Киргизского хребта. Исследования были направлены на уточнение участков локализации оползневых процессов, проявлявшихся в течение исторического периода и изучение геологических предпосылок их возникновения. В качестве первоочередного был намечен участок в непосредственной близости от расположения Научной станции РАН в долине левого притока р. Аламедин - р. Чункурчак, где по геоморфологическим признакам были установлены проявления оползневых процессов разного возраста.

В целом долина оконтуривает локальный прогиб поверхности предолигоценного пенеппена, на котором сохранились останцы олигоцен-миоценовых отложений киргизской серии. В геоморфологическом плане этот участок отвечает изометричной котловине абразионного ледникового генезиса, осложненной врезами современных водотоков. Признаки масштабных разновременных оползневых процессов, которые приурочены к склонам котловины, отмечаются в окружении п. Татыр. Один из них - крупный оползень шириной до 500 м и длиной около 1,4 км, почти достигший западной окраины поселка, возник предположительно несколько десятков лет назад. Склон, на котором возник оползень, как и многие другие склоны в районе с. Татыр, обнаруживают геоморфологические признаки более ранних оползневых смещений со значительно большим объемом перемещенных масс.

Детальное структурно-геологическое картирование района долины р. Чункурчак позволило установить, что оползни в большинстве случаев проявлены на участках обнажения красноцветных отложений палеогенового возраста - киргизской и коктурпакской серий, сложенных глинисто-терригенными породами. Часто плоскость detachment оползневых тел совпадает с подошвой палеогеновых отложений - контактом с палеозойским фундаментом. Этому способствует наличие глинисто-карбонатных пород коры выветривания, развитой в основании чехла и маркирующей поверхность регионального предолигоценного пенеппена. Кроме того, базальные горизонты чехла часто являются водоносными слоями и маркируются родниками. Крупные оползни приурочены к участкам с наклоном контакта "фундамент-чехол" в $8-15^{\circ}$, обусловленным дифференцированными тектоническими подвижками орогенного этапа. Необходимым условием крупных оползней является достаточная мощность осадочных пород, включая четвертичные рыхлые отложения - лессовидные суглинки и делювий, перекрывающие красноцветный палеогеновый комплекс. Более мелкие современные оползни, проявившиеся за последние 50 лет, с незначительным объемом и амплитудами перемещений отмечаются вдоль обрывистых врезом ручьев, также преимущественно в области распространения палеогеновых красноцветов.

Специфические оползневые процессы отмечаются вдоль активного в четвертичное время Аламединского разлома. Строение разломной зоны отчетливо проявляется при структурном дешифрировании детальных спутниковых ландшафтных снимков и

уточнялось в процессе наблюдений на местности. Зона субпараллельных разрывных нарушений (прямолинейных и дуговых в плане) протягивается параллельно крутому склону и гребню хребта, ограничивающего Чункурчакскую котловину и область распространения палеогеновых красноцветов с юго-запада. Разлом проявлен в виде зон интенсивного катаклаза и милонитизации в ордовикских гранодиоритах. Кластический материал мелкоглыбовой и щебнистой размерности в милонитовом матриксе смещается вниз по крутым склонам, формирует ступенчатые "языки" протяженностью 100 - 300 м. Подобная выраженность в рельефе свидетельствует о высокой подвижности слоя кластитового грунта мощностью 5 - 15 м, хотя следов быстрых оползневых явлений, таких как трещины или зеркала отрыва, не обнаружено. На удалении от разлома при выполаживании склонов кластитовый материал рассеивается в составе делювия с существенно глинистым (лессовидным) матриксом. Вопросы о пространственном контроле оползней активными разломами и критерии оползневой опасности разломов в настоящее время остаются дискуссионными и требуют дальнейшей разработки. Наши исследования показывают, что в ряду факторов, провоцирующих приразломные оползни, следует учитывать мощность зоны катаклаза и характеристики тектоно-кластических пород. При этом важными параметрами являются динамические условия деформаций в зоне современной тектонической активности и состав пород фундамента.

5. Сопоставление полученных геофизических образов с геолого-тектонической структурой района исследования выполнено на уровне геолого-тектонического истолкования построенных геоэлектрических разрезов земной коры Бишкекского геодинамического полигона. Результаты такой геологической интерпретации представлены в пункте 3 этого раздела отчета в описании геоэлектрических построений.

6. В ходе проведенного анализа материалов комплексного геодинамического мониторинга Северного Тянь-Шаня были рассмотрены следующие физические поля:

(а) *Вариации электрических параметров земной коры.* На этапе проекта 2015 года были продолжены режимные исследования пространственно-временного распределения деформационных процессов в земной коре, проявляющихся в вариациях различных геофизических параметров геологической среды и, в частности, ее электрических характеристик, таких как кажущееся электрическое сопротивление, анизотропия и др. Применяемые для комплексного геодинамического мониторинга электромагнитные методы - магнитотеллурическое зондирование (МТЗ), зондирование становлением в дальней зоне (ЗСД) имеют хорошую чувствительность к изменению электрических свойств горных пород, слагающих разрез, при изменении их напряженного состояния. В 2015 году мониторинговые магнитотеллурические зондирования выполнялись на стационарных пунктах - Ак-Суу и Чон-Курчак (рис. 6).

В качестве примера анализа электромагнитных параметров на рисунке 7 представлены частотно-временные ряды данных МТ-мониторинга станции Ак-Суу (рис.6.), за период наблюдения с 04 октября по 02 декабря 2015 года, построенные по методике азимутального мониторинга [Баталева, Баталев, Рыбин, 2013; Баталева, Рыбин, Баталев, 2014]. Этот интервал времени выбран в связи с наличием значительного количества близких к пунктам мониторинга сейсмических событий (порядка 100 км). При обработке МТ-данных пункта Ак-Суу, выявлено, что вариации кажущегося сопротивления являются достаточно гладкими и устойчивыми в широком частотном диапазоне. Набор исходных данных состоит из 69 дней, каждый из которых представлен записями магнитотеллурического поля длительностью по 16 часов (остальные восемь часов суточной реализации не рассматриваются из-за влияния на регистрируемое МТ-поле искусственных электромагнитных импульсов, генерируемых мощной электроимпульсной установкой ЭРГУ-600). Моменты близких землетрясений показаны на рисунке 7 вертикальными линиями. При рассмотрении этих рисунков обращает на себя внимание факт приуроченности сейсмических событий к участкам частотно-временных рядов с высокими градиентами кажущегося электрического сопротивления, т.е. интервалам времени, когда согласно концепции перераспределения флюидов, происходит значительное изменение напряженно-деформированного состояния массивов горных

пород верхней части земной коры. В большинстве случаев резкие изменения напряженно-деформированного состояния происходят либо перед сейсмическими событиями либо непосредственно после него, однако, и низкоградиентные деформации, сопутствующие накоплению упругой энергии землетрясений, отражаются в результатах азимутального МТ-мониторинга. Очевидно, что и медленное перераспределение флюидов между системами трещин и пор, происходящее при подготовке сейсмических событий, также будет фиксироваться в вариациях электропроводности в случае достаточно длинных частотно-временных рядов и корректного выбора средних значений, относительно которых вычисляются вариации.

(б) *Современные движения поверхности земной коры.* С 2012 г. на территории Бишкекского геодинимического полигона (БГП) в кампанию опроса локальной GPS сети входят 36 пунктов собственно локальной сети и вместе с ними 10 фундаментальных пунктов геодезических площадок POLIGON и KENTOR (рис. 8). В состав GPS пунктов площадки POLIGON входят 6 тумб: POL3 и POLY, заложенные в 1983 г; IP02, IP03, IP04 и IP05, установленные в 2012г. Площадка KENTOR включает в себя 4 тумбы: IK02 и IK03 (1984 г), IK05 и IK06 (2012 г).

Продолжительность локальной измерительной сессии на каждом пункте составляет 36 часов. Продолжительность локальной GPS кампании составляет всего 11-13 дней. За две такие кампании четыре бригады опрашивают 36 пунктов локальной GPS сети и 10 пунктов детальных геодезических площадок. Измерения осуществляются с помощью двухчастотных GPS приемников Topcon Legacy-E. На конец 2015 года проведено 4 полных цикла измерений локальной GPS сети.

Для обработки GPS-данных с целью получения оценок скоростей пунктов в Научной станции РАН используется разработанный в MIT (Massachusetts Institute of Technology) программный пакет GAMIT/GLOBK [Herring et al., 2010a; 2010b; 2010c].

В основе моделирования деформационных процессов в земной коре Тянь-Шаня с использованием каталога скоростей пунктов ЦА GPS сети в работе [Мансуров, 2015] был реализован подход, позволяющий получить тензор скорости деформации в окрестности любой точки земной коры, что дает информацию о направлении главных осей деформации, ее скорости (относительное изменение площади) и максимально возможных величинах сдвиговых деформаций.

В качестве исходных данных был использован каталог скоростей 454 пунктов наблюдений ЦА GPS сети, для которых ошибки оценки скорости не превосходят 4 мм/год по горизонтальным и 8 мм/год по вертикальной компоненте.

Для расчета поля тензора скорости деформации был использован метод, основанный на взвешенном методе наименьших квадратов, предложенный в [Shen, 1996]. Аспекты применения этого метода к использованным данным подробно изложены в [Мансуров, 2015]. Расчет производился с использованием программного комплекса SUR_GPS_STRAINS, вопросы разработки которого изложены в [Мансуров, 2012].

Основной упор в работе был сделан на определение направления осей сжатия и растяжения как основных характеристик геодинимического процесса. На рисунке 9 представлено направление осей сжатия по сейсмическим и GPS данным. Оба метода позволяют отметить, что направление осей с запада на восток рассматриваемой территории меняется от северо-северо-западного к северному. В восточной части исследуемой территории GPS метод показывает направление осей сжатия строго на север, а по сейсмическим данным его можно отметить как субмеридиональное.

(в) *Пространственно-временное распределение сейсмических событий.* В течение 2015 года сейсмическая активность на территории БГП продолжала снижаться. На рисунке 10 показаны графики временного распределения сейсмических событий на территории Бишкекского геодинимического полигона и его окружения. Анализ каталога землетрясений показал, что период с января 2015 г. по декабрь 2015г. характеризовался относительно стабильным сейсмическим режимом (рис.10).

7. Для выявления геодинимических характеристик среды и выбора наиболее чувствительных зон к изменению напряженно-деформированного состояния земной коры (рис.11) был выполнен эксперимент, который включал в себя 34 пункта МТ-

зондирований, заложенных в совершенно различных с точки зрения геологии и тектоники условиях. В результате этого эксперимента были получены оценки изменения кажущегося электрического сопротивления как отклика среды на изменение напряженно-деформированного состояния среды, обусловленное как приливными воздействиями, так и сейсмическими событиями, произошедшими во время проведения эксперимента [Баталева, Баталев, Рыбин, 2013; Баталева, Рыбин, Баталев, 2014; Рыбин и др., 2011].

В результате проведенного корреляционного анализа было установлено, что характер взаимосвязи наилучшим образом отражается в распределении характеристик среды на корреляционных полярных диаграммах (рис.11). В дальнейшем полученные временные ряды электромагнитных параметров были проанализированы на предмет определения вклада каждой из компонент тензора импеданса в информативность мониторинговых исследований. Наибольший интерес вызвал тот факт, что ориентация основных тектонических нарушений, закартированных вблизи пункта зондирования, находит отражение в распределении кластеров как основных, так и дополнительных импедансов на корреляционных полярных диаграммах. В общей сложности было проанализировано более 16 пунктов зондирований, которые расположены в непосредственной близости от зон тектонических нарушений и все разломные структуры (зоны динамического влияния) проявились в распределении электромагнитных параметров на полярных диаграммах.

На рисунке 12 представлено распределение суммы горизонтальных компонент тензора скорости деформации по GPS (рис.12 верхняя панель) и сейсмическим (рис.12 нижняя панель) данным. Распределение хрупких деформаций, которыми сопровождаются землетрясения, отражается в поле дилатансии повышенными отрицательными значениями.

8. Исследованы геологические предпосылки возникновения оползневых процессов и роль тектонической активности региональных структур в локализации оползней на примере отдельного района территории Бишкекского геодинамического полигона - долины р. Чункурчак (рис. 13).

Структурно-геологические исследования в долине р. Чункурчак позволили установить, что оползни в большинстве случаев проявлены на участках обнажения красноцветных отложений палеогенового возраста - киргизской и коктурпакской серий, сложенных глинисто-терригенными породами (рис. 14). Часто плоскость детачмента оползневых тел совпадает с подошвой палеогеновых отложений - контактом с палеозойским фундаментом. Этому способствует наличие глинисто-карбонатных пород коры выветривания, развитой в основании чехла и маркирующей поверхность регионального преолигоценного пенеплена. Кроме того, базальные горизонты чехла часто являются водоносными слоями. Крупные оползни приурочены к участкам, где наклон контакта "фундамент-чехол" составляет $8-15^{\circ}$ и примерно совпадает с направлениями склонов рельефа. Необходимым условием крупных оползней является достаточная мощность осадочных пород, включая четвертичные рыхлые отложения (лессовидные суглинки, делювий), перекрывающих красноцветный палеогеновый комплекс. Более мелкие современные оползни (предположительно проявившиеся за последние 50 лет) с незначительным объемом и амплитудами перемещений отмечаются вдоль обрывистых врезов ручьев, также преимущественно в области распространения палеогеновых красноцветов.

К наиболее поздним относится крупный и отчетливо выраженный в рельефе оползень шириной более 200 м и длиной около 1,4 км почти достиг западной окраины поселка Татыр (выделен черными стрелками на рис. 15). Геоморфологическое проявление оползня и его структура практически не претерпели изменений со времени его возникновения. Отчетливо проявлены уступ зеркала отрыва, трещины отрыва во внешнем окружении и в вершинной части оползневого тела, структуры течения в его средней части и структуры разгрузки (нагнетания) в его "языке". Судя по этим структурам, оползание имело характер потока, в котором максимально (до 0,5 км) были перемещены породы в центральной части оползня. Оползневое тело целиком сложено красноцветными породами киргизской серии (рыхлые

песчаники, галечные конгломераты и глинисто-песчаные породы) с маломощным чехлом четвертичных лессовидных суглинков и делювия. Общий объем перемещенного грунта составляет по нашим оценкам около 4 млн м³.

Склон, на котором возник описанный оползень, как и многие другие участки в районе с. Татыр, обнаруживают геоморфологические признаки более ранних оползневых проявлений, контролируемых разломами обрамления прогиба и склонами долин рек Чункурчак и Аламедин (рис. 15). По характерным структурным элементам (трещинам и зеркалам отрыва, террасам, структурам нагнетания и др.), определяемым на местности и видимым на ландшафтных космических снимках, можно определить направления, размеры оползней, оценить их возраст, объемы и скорость перемещения грунта.

Разнообразные склоновые процессы отмечаются вдоль активного в четвертичное время (включая современный этап) Аламединского разлома. В СВ части разлом осложнен косыми оперяющими трещинами и разрывами меридионального простирания, смесители которых контролируют положение зеркал отрыва двух соседствующих обширных оползней. Судя по сглаженности оползневых террас и нечеткости трещин отрыва, более крупный южный оползень случился задолго до наложившегося на него оползня к с. Татыр, описанного выше, и предшествовал также возникновению соседнего северного. Оползни в основном сложены красноцветными глинисто-песчаными породами киргизского комплекса, однако, в вершинной части включают в себя некоторые объемы дезинтегрированных ордовикских гранитов. Амплитуды горизонтальных перемещений масс пород вряд ли превосходили высоту уступов зеркал отрыва, а направления движения, определенные по террасам в оползневых телах, в целом соответствовали наклону рельефа. Можно полагать, что зеркала оползней совпадают со смесителем одного из разрывов, оперяющих Аламединский разлом, а милонитизированные породы играли роль смазки при оползании столь крупных объемов пород.

В южной части Аламединского сдвига кластический материал мелкоглыбовой и щебнистой размерности в глинисто-алевритовом (милонитовом) матриксе смещается вниз по крутым склонам, формирует ступенчатые "языки" протяженностью 100 - 300 м с дуговидными террасами, буграми нагнетания. Хотя следов быстрых оползневых явлений, таких как трещины или зеркала отрыва, не обнаружено, подобная морфология склонов свидетельствует о высокой подвижности слоя кластитового грунта мощностью в десятки метров. Вероятно, террасы являются формами оплывания делювиальных отложений тектонически дезинтегрированных пород – тектоно-микститов (см. рис. 15-А). На удалении от разлома при выполаживании склонов кластитовый материал обнаруживается в составе современного делювия смешанного генезиса.

9. О геодинамической природе и возможных механизмах опасных геологических процессов на территории Северного Тянь-Шаня.

Как известно, значительные, иногда катастрофические обвально-оползневые явления провоцируются землетрясениями, проявляются в зонах тектонической активности. Крупные обвально-оползневые тела, приуроченные к зоне активизированного разлома СВ простирания, расположены в предгорьях Киргизского хребта в верховьях бассейна р. Сокулук в поле распространения ордовикских метавулканитов и метаосадков. Геометрия плоскостей отрыва отчетливо контролируется линеаментом предположительно сейсмогенной природы. По морфологическим признакам и генезису выявленные объекты сходны с известным сейсмогенным оползнем в районе п. Ананьево на северном берегу оз. Иссык-Куль. К этому же типу относятся древние крупнообъемные оползни на водоразделе рек Чункурчак и Аламедин, обусловленные срывами по трещинам и разрывам Аламединской разломной зоны.

Подобные потенциально катастрофические проявления тектонической (сейсмической) активности разломов трудно предсказуемы, так как происходят при совпадении комплекса геологических, геоморфологических и погодных условий. В ряду геологических предпосылок приразломных оползней, помимо сейсмических событий, вероятно, следует учитывать мощность зоны катаклаза, характеристики тектоно-кластических пород, наличие и ориентировку наклонных плоскостей смесителей и др. Подчеркнем, что

необходимым условием возникновения оползневых процессов этого типа является наличие живых разломов, по которым могут реализоваться современные тектонические и гравитационные смещения блоков пород.

Как было показано структурно-морфологическими работами на нескольких участках в пределах Бишкекского геодинамического полигона, на детальном уровне рассмотрения многие субширотные региональные линейные зоны градиентных смещений взбросового и надвигового типа представляют собой широкие зоны катакластического течения с размерностью блоков от 1 км и мельче [Пржиялговский, Кузиков, 2015], что отражает раздробленность и дискретную неотектоническую подвижность палеозойского (преимущественно гранитоидного) фундамента. Относительные подвижки блоков и их деформации проявляются в морфоструктуре кровли фундамента и других поверхностей выравнивания и фиксируются методами детального геодезического мониторинга. Тем не менее, современная активность на подобных участках рассредоточенных смещений (например, в зоне Шамсинского взброса в междуречье Аламедин – Иссык-Ата) не сопровождалась проявлением масштабных обвально-оползневых процессов в историческое время. Небольшие по объему оползни на крутых склонах контролируются ареалами распространения глинистых пород чехла и лишь в определенных погодных условиях могут быть спровоцированы сейсмическими событиями.

На участках локализованных относительных смещений блоков - в зонах разломов - тектоническая дезинтеграция пород максимальна. Зоны милонитизации и фильтрации поверхностных и ювенильных флюидов по главным и второстепенным разломам играют роль смазки между относительно более прочными блоками пород, по ним реализуются современные тектонические напряжения и, при определенной ориентировке разломов относительно уклона рельефа – гравитационные. Обвально-оползневые процессы этого типа представляют реальную угрозу хозяйственной деятельности и населению ввиду их больших объемов и быстроты протекания. Степень потенциальной опасности участков с контрастным рельефом можно оценить при постановке целенаправленных структурно-морфологических исследований в зонах живых разломов.

Как было продемонстрировано на участке Аламединского разлома, грунты, включающие тектонически дезинтегрированные породы обладают гравитационной подвижностью, образуют наплывы на крутых склонах хребта. Их образование связано с медленным перманентным или импульсным течением пластичных масс пород и должно учитываться при инженерно-геологических проектных работах. Характер дезинтеграции зависит не только от амплитуды тектонических движений и кинематической обстановки, но и от состава разрушающихся пород. Продукты тектонического разрушения пород гранитного ряда, в силу особенностей их микроструктуры и минерального состава, обладают гранулометрическими особенностями и при прочих равных условиях могут иметь большой объем [Леонов и др., 2014; Пржиялговский, Леонов, 2012]. Формирующиеся на склоне ниже зоны разлома делювиальные шлейфы (тектоногравитационные микститы по [Леонов, 2008]) представляют собой несортированную смесь неокатанных обломков различного размера в тонкозернистом, иногда глинистом матриксе. Подвижность этих грунтов, как и глинистых, зависит от их увлажненности, мощности и крутизны склона. При больших объемах подобного грунта, возможно образование оползней.

Вклад каждого члена коллектива в выполнение Проекта в 2015 году (указать работу, выполненную каждым членом коллектива по Проекту в 2015 году с новой строки

Баталева Е.А. Разработка методики и ее программной реализации для комплексного анализа и интерпретации накопленных экспериментальных геолого-геофизических материалов. Анализ полученных вариаций параметров геофизических полей с точки зрения оценки характеристик геодинамических процессов в земной коре региона. Подготовка итоговой статьи для опубликования.

Брагин В.Д. Разработка методики и ее программной реализации для комплексного анализа и интерпретации накопленных экспериментальных геолого-геофизических материалов. Построение комплексных геофизических моделей различного пространственного

масштаба для исследуемого объема геосреды. Анализ материалов комплексного геодинамического мониторинга Северного Тянь-Шаня:

Воронцова Е.В. Создание электронного архива для хранения экспериментальных данных мультидисциплинарных наблюдений. Разработка методики и ее программной реализации для комплексного анализа и интерпретации накопленных экспериментальных геофизических данных. Анализ материалов комплексного геодинамического мониторинга Северного Тянь-Шаня:

Леонов М.Г. Изучение геолого-тектонического строения Северного Тянь-Шаня в зоне сочленения Киргизского хребта и Чуйской впадины. Анализ взаимосвязи современных опасных геологических процессов (оползни, землетрясения) с геолого-тектоническими структурами и геодинамическими процессами земной коры Северного Тянь-Шаня. Объяснение геодинамической природы и возможных механизмов опасных геологических процессов на территории Северного Тянь-Шаня. Подготовка статей и докладов на конференции.

Мансуров А.Н. Создание электронного архива для хранения экспериментальных данных мультидисциплинарных наблюдений. Построение и анализ деформационных моделей для региона исследования. Подготовка статей для опубликования и докладов на конференции.

Пржиялговский Е.С. Изучение геолого-тектонического строения Северного Тянь-Шаня на территории Бишкекского геодинамического полигона. Сбор и анализ геологического литературного и картографического материала. Подготовка структурно-геологических схем и разрезов ключевых участков изучаемой территории. Подготовка статей для опубликования.

Рыбин А.К. Построение комплексных геофизических моделей различного пространственного масштаба для исследуемого объема геосреды. Анализ полученных вариаций параметров геофизических полей с точки зрения оценки характеристик геодинамических процессов в земной коре региона. Возможное объяснение геодинамической природы и механизмов опасных геологических процессов на территории Северного Тянь-Шаня. Подготовка статей и докладов на конференции.

Щелочков Г.Г. Сбор и анализ геофизических материалов по теме проекта. Исследование взаимосвязи современных опасных геологических процессов с геолого-тектоническими структурами и геодинамическими процессами земной коры Северного Тянь-Шаня. Участие в подготовке статей для опубликования и докладов на конференции.

Количество научных работ по Проекту, опубликованных в 2015 году (цифрами)

4

Из них в изданиях, включенных в перечень ВАК

0

Из них в изданиях, включенных в библиографическую базу данных РИНЦ

1

Из них в изданиях, включенных в международные системы цитирования (библиографические и реферативные базы научных публикаций)

0

Из них в соавторстве с зарубежными участниками

1

Количество научных работ, подготовленных в ходе выполнения Проекта и принятых к печати в 2015 году (цифрами)

3

Из них в соавторстве с зарубежными участниками

1

Участие в 2015 году в научных мероприятиях по тематике Проекта (каждое мероприятие с новой строки, указать названия мероприятий и тип доклада)

XLVIII Тектоническое совещание «Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ» г. Москва, устный доклад

Участие в 2015 году в экспедициях по тематике Проекта, которые проводились при финансовой поддержке Фонда (указать номера Проектов)

нет

Финансовые средства, полученные в 2015 году от РФФИ (указать общий объем, в руб.)

750000

Финансовые средства, полученные в 2014 году от РФФИ (указать общий объем, в руб.)

750000

Адреса (полностью) ресурсов в Интернете, подготовленных авторами по данному проекту, например, <http://www.somewhere.ru/mypub.html>

<http://www.gdirc.ru/novosti/283-2016-01-25-03-22-40>

Библиографический список всех публикаций по проекту за весь период выполнения проекта, в порядке значимости: монографии, статьи в научных изданиях, тезисы докладов и материалы съездов, конференций и т.д.

Кожогулов К. Ч., Рыбин А. К. О проблеме исследования опасных экзогенных геологических процессов Тянь-Шаня // Доклады НАН КР, 2015. №1. С. 36-40.

Рыбин А.К., Баталева Е.А., Леонов М.Г., Пржиялговский Е.С., Кожогулов К.Ч., Никольская О.В., Мамыров Э.М. Современная геодинамическая активность земной коры Северного Тянь-Шаня и опасные геологические процессы // Вестник КРСУ. г. Бишкек. 2016. (в печати).

Мансуров А.Н., Рыбин А.К. Поле скорости современных деформаций Чуйской впадины по данным космической геодезии // Материалы докладов Шестого международного симпозиума «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов» (23-29 июня 2014 г., г. Бишкек). Бишкек: НС РАН, 2015. С. 84-89.

Пржиялговский Е.С. Геологические факторы локализации оползней в районе Бишкекского геодинамического полигона в предгорьях Киргизского хребта // Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты. Материалы XLVII Тектонического совещания. Том II. – М.: ГЕОС, 2015. С. 54-57.

Пржиялговский Е.С., Кузиков С.И. Детальные морфоструктурные исследования в районе Бишкекского геодинамического полигона // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Материалы докладов 6 Международного симпозиума, г. Бишкек. НС РАН. 2015. С. 11-17.

Пржиялговский Е.С., Лаврушина Е.В., Леонов М.Г. Деформации кайнозойского чехла и кровли палеозойского фундамента в южном борту Чуйской впадины (Северный Тянь-Шань // Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ. Материалы XLVIII Тектонического совещания, г Москва, 2016 (в печати).

Лаврушина Е.В., Пржиялговский Е.С. Реконструкция параметров палеонапряжений и стрессовых режимов в дезинтегрированных гранитоидах северного склона Киргизского хребта// Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ. Материалы XLVIII Тектонического совещания, г Москва, 2016 (в печати).

Библиографический список совместных публикаций (в соавторстве с зарубежным партнером по проекту) за весь период выполнения проекта: монографии и статьи в научных изданиях с указанием импакт-фактора журнала по базе данных Web of Science (тезисы докладов и материалы съездов, конференций и т.д. не включать)

Кожогулов К. Ч., Рыбин А. К. О проблеме исследования опасных экзогенных геологических процессов Тянь-Шаня // Доклады НАН КР, 2015. №1. С. 36-40.

Рыбин А.К., Баталева Е.А., Леонов М.Г., Пржиялговский Е.С., Кожогулов К.Ч., Никольская О.В., Мамыров Э.М. Современная геодинамическая активность земной коры Северного Тянь-Шаня и опасные геологические процессы // Вестник КРСУ. г. Бишкек. 2016. (в печати).

Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта

Рациональное природопользование

Критическая технология РФ, которой, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта

Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения

Основное направление технологической модернизации экономики России, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта

не очевидно

Преимущества, полученные в результате международного сотрудничества (использование оборудования, наработок, доступ к уникальным объектам и условиям и т.д.)

Использование материалов мультидисциплинарных исследований по тематике проекта, полученных участниками проекта в регионе исследования. Комплексное решение научных задач проекта. Подготовка совместных публикаций.

Рисунки к отчету

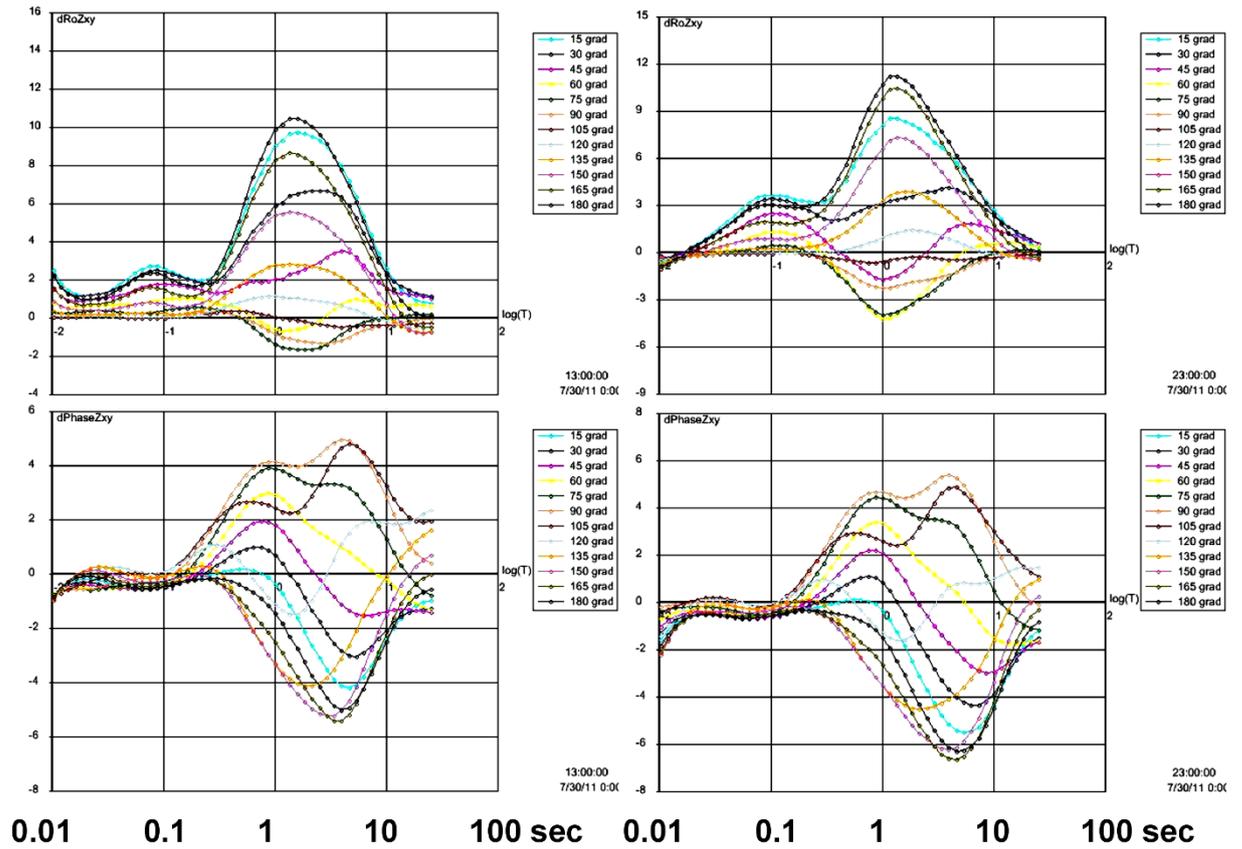


Рис.1. Пример расчета вариаций сопротивления и фазы импеданса в зависимости от азимута и периода зондирований

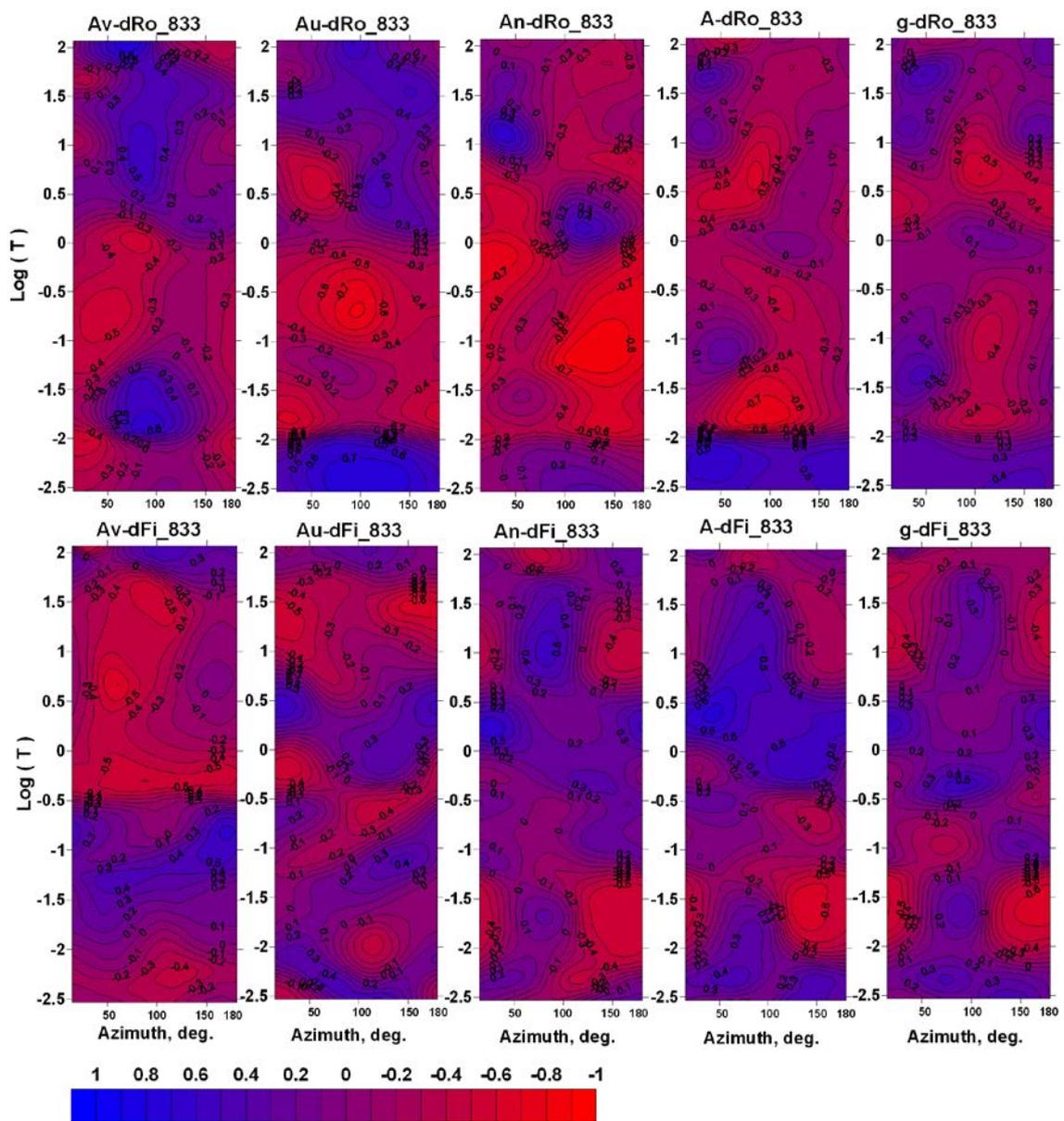


Рис. 2. Пример расчета коэффициентов корреляции вариаций сопротивления (верхний ряд) и фазы импеданса (нижний ряд) с компонентами лунно-солнечных приливов Ав-северная, Au-восточная, An-вертикальная, A-полный вектор, g – горизонтальная, в зависимости от периода зондирований и азимута.

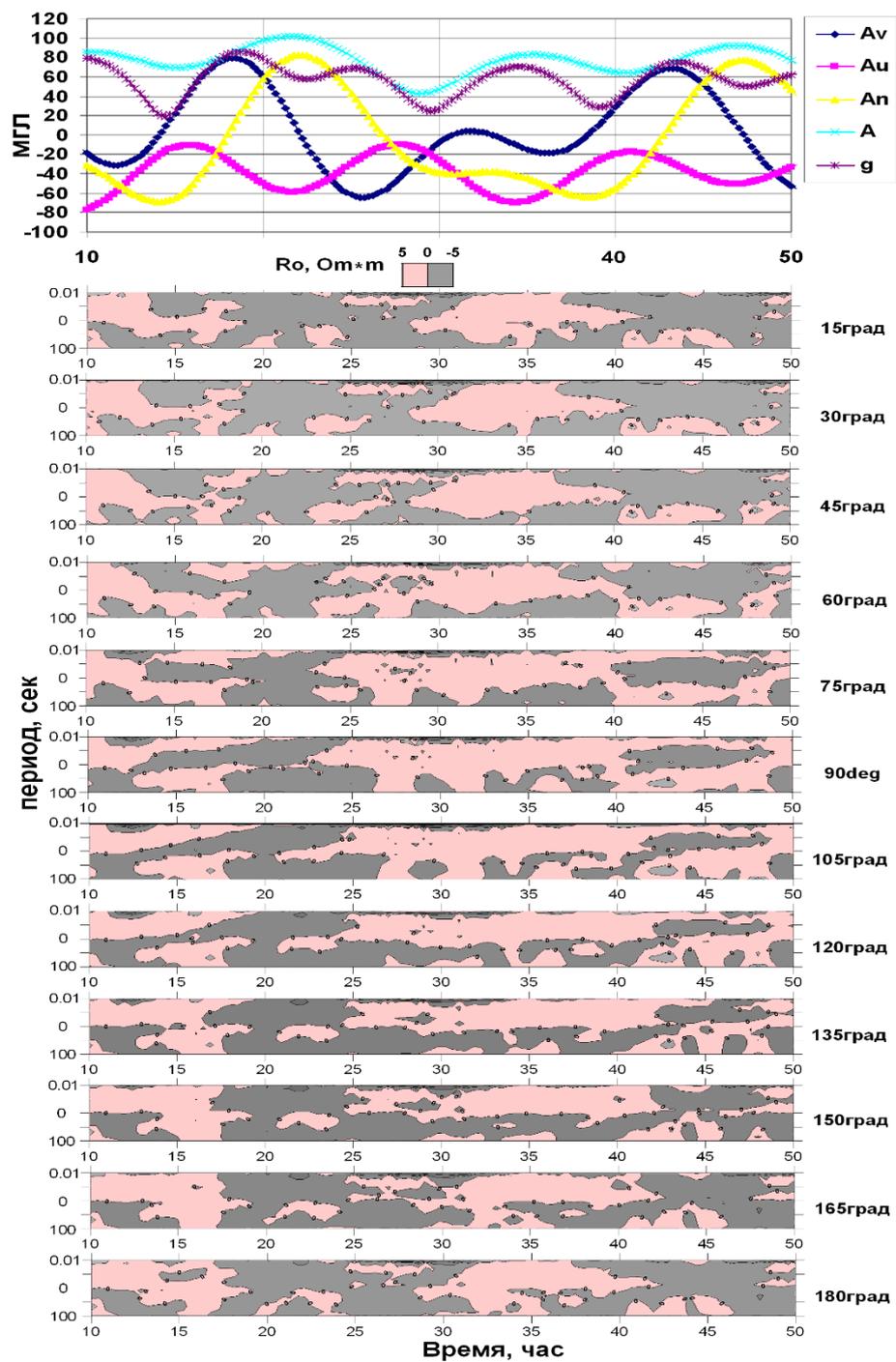


Рис. 3. Сопоставление приливных воздействий (верхняя панель) с псевдоразрезами вариаций электросопротивления в пункте МТЗ 833 (западное замыкание Нарынской впадины, в качестве примера) по азимутам от 15 до 180 градусов. Av-северная, Au-восточная, An-вертикальная, A-полный вектор, g –горизонтальная компоненты приливных воздействий

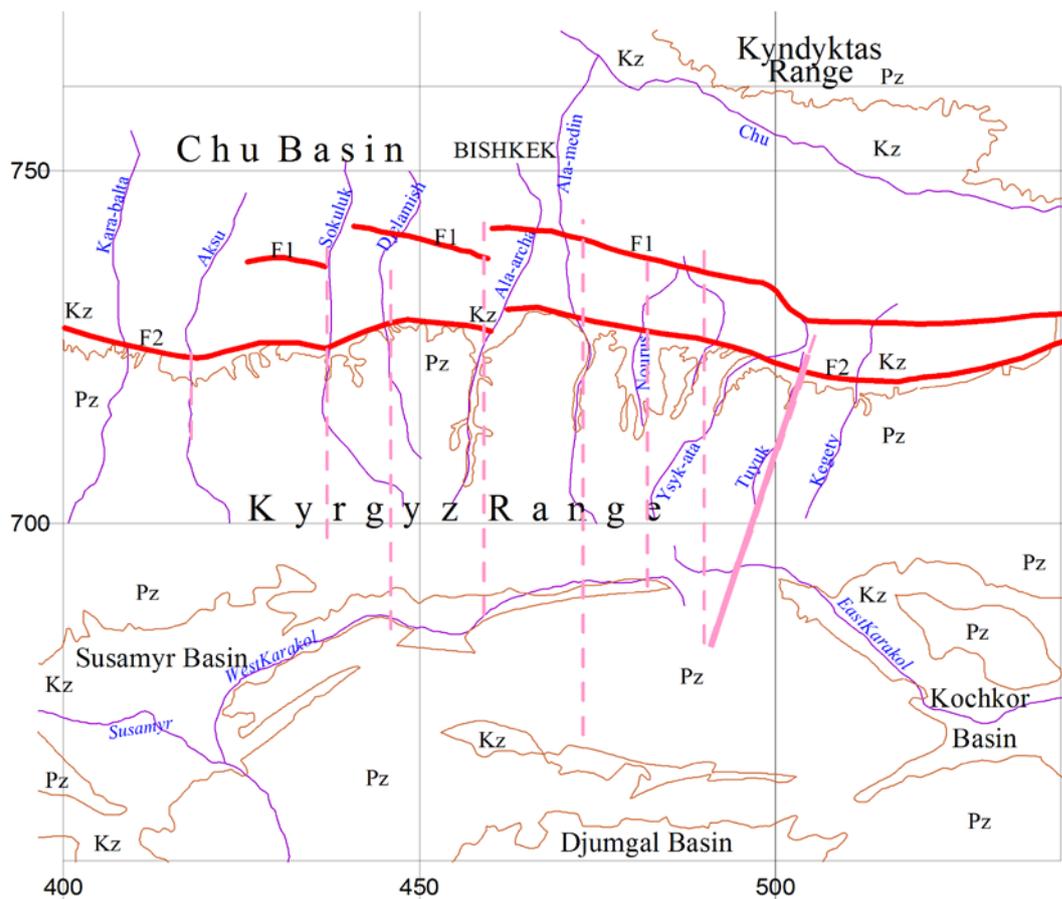


Рис. 4. Схема расположения региональных разломов и профиля Туяк (сплошная линия)

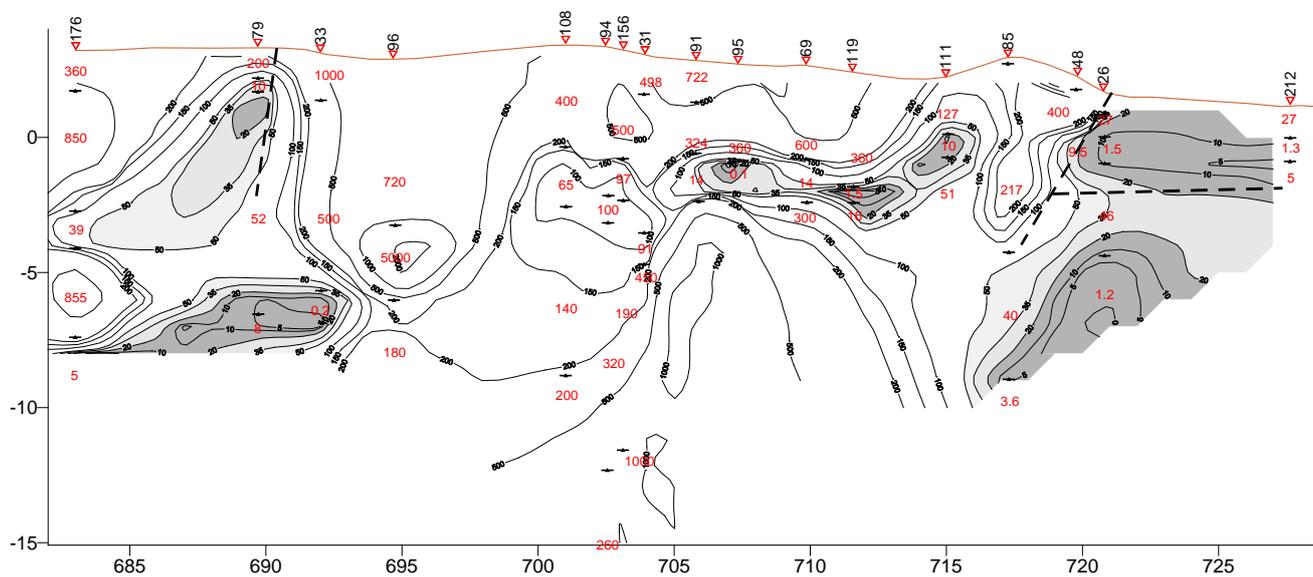


Рис. 5. Геоэлектрический разрез по профилю Туяк.

Условные обозначения к геоэлектрическим разрезам

	Положение границы пластов, различных по сопротивлению. Расчетное значение сопротивлений пласта (омм)
	Изолинии интерполированных значений сопротивлений пластов (омм)
	Линия рельефа местности, расположение пункта электрозондирования и его номер
	Положение региональных разломов и их названия
	Положение поверхности палеозойских отложений в Чуйской впадине
	Положение пунктов МТЗ и их номер
	Положение пунктов электрозондирований и их номер
	Положение пунктов наблюдения прибором TEAM-FAST и их номер
	Положение блока с низким сопротивлением по данным электрозондирований
	Положение блока с низким сопротивлением по данным TEAM-FAST
	Положение термального источника



Рис. 6. Карта-схема Северного Тянь-Шаня – территория БГП. 1 – Научная станция РАН; 2 – крупные города; 3 – стационарные пункты электромагнитного мониторинга; 4 – основные разломы; 5 – Центрально-Чуйская флексурно-разрывная зона.

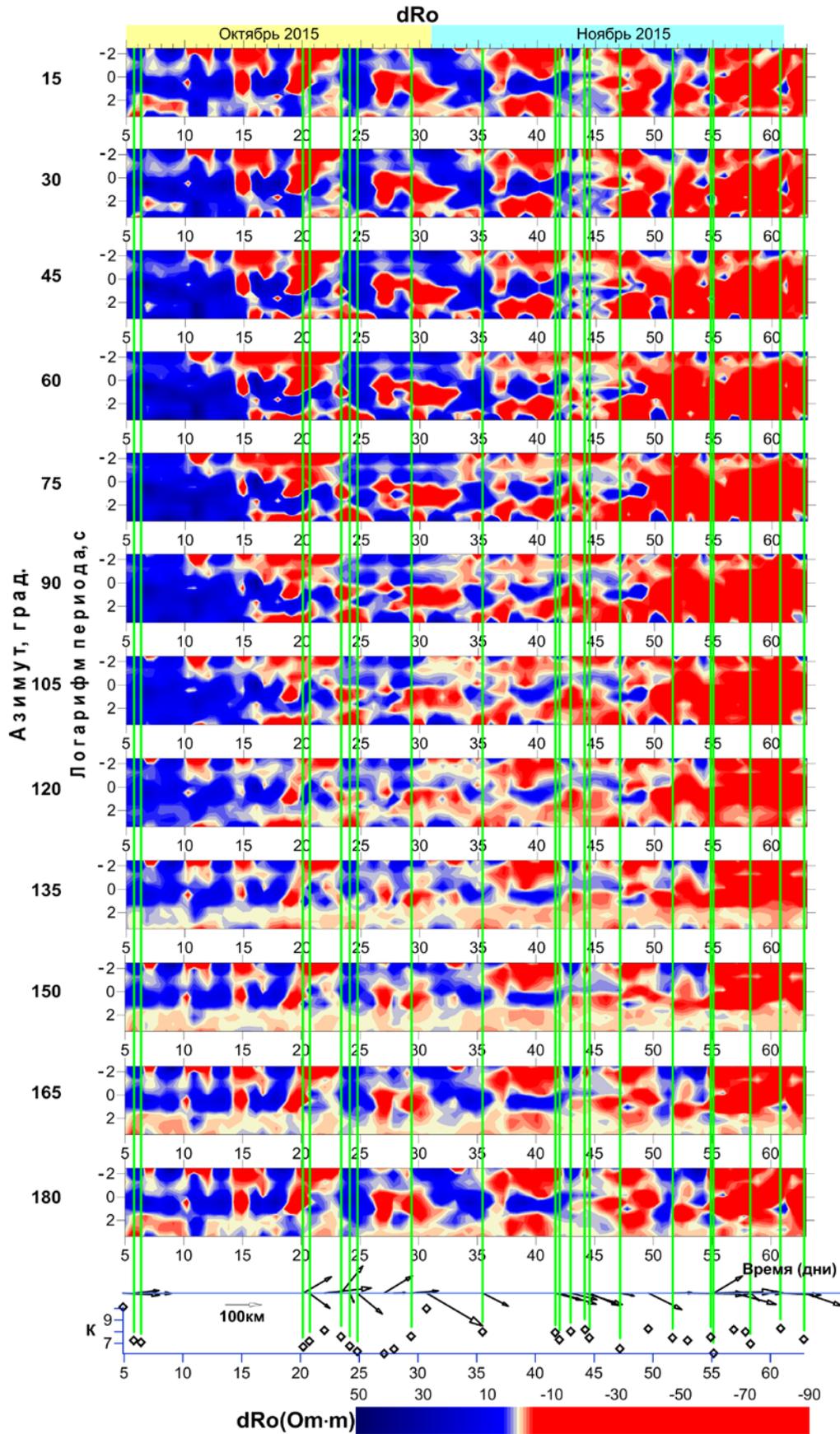


Рис. 7. Частотно временные ряды кажущегося сопротивления (R_o) азимутального МТ-мониторинга по данным станции Ак-Суу в сопоставлении с сейсмичностью за октябрь и ноябрь 2015 г. Длина стрелки - расстояние до землетрясения, а её азимут - направление от пункта Ак-Суу на эпицентр сейсмического события. Энергетический класс сейсмических событий (K) показан ромбиками в нижней части рисунка.

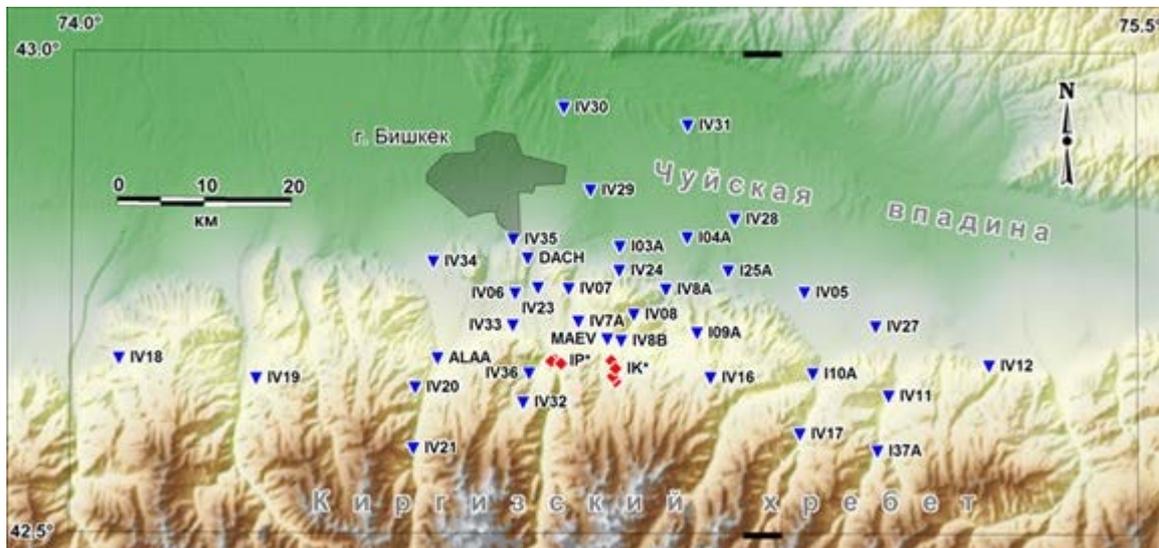


Рис. 8. Положение 36 пунктов (синие треугольники) Бишкекской локальной GPS сети и 10 фундаментальных тумб детальных площадок (красные ромбики) POLIGON (IP**) и KENTOR (IK**).

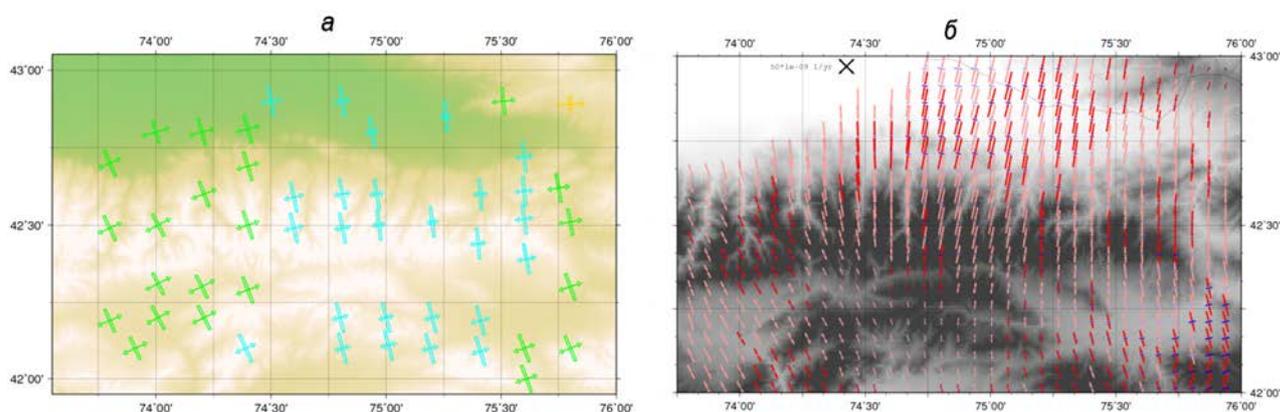


Рис. 9. Направление осей сжатия и растяжения по сейсмическим и GPS данным.

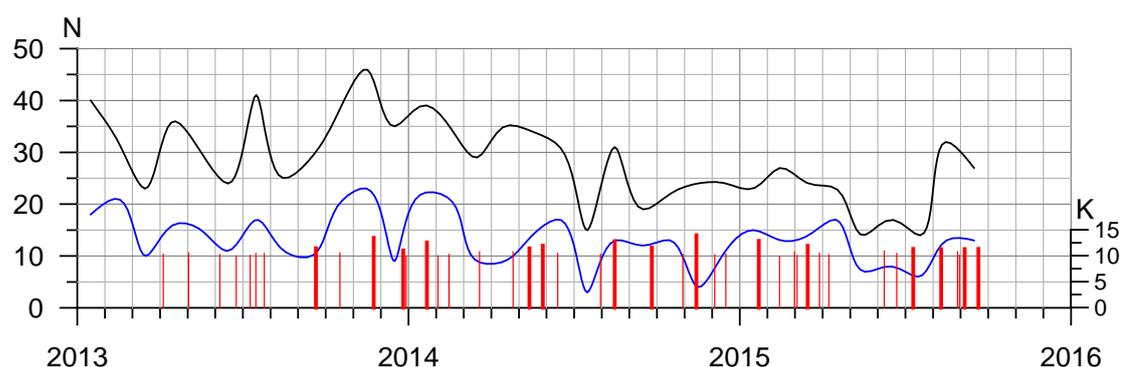


Рис. 10. Графики среднемесячных значений N (количества событий) для БГП (выделено синим цветом) и для территории, ограниченной координатами: 40°-44° с.ш. и 70°-81° в.д. (выделено черным цветом). На нижнюю шкалу координат вынесены сейсмические события с $K \geq 10$

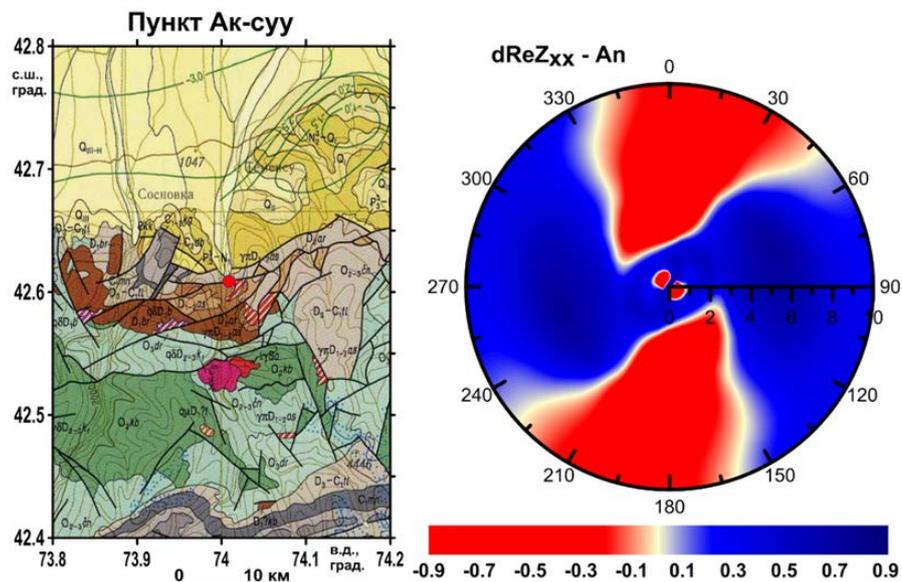


Рис. 11. Пример оценки тензочувствительности пункта МТ-мониторинга. Панель слева – фрагмент геологической карты вблизи расположения стационарного пункта МТ-мониторинга Ак-Суу (красный кружок); панель справа - распределение коэффициента корреляции (дополнительный импеданс Z_{xx} и вертикальная компонента приливных воздействий A_n) в полярных координатах, где по оси радиусов показан \sqrt{T} (Т-период). Цвет определяет значения коэффициента корреляции.

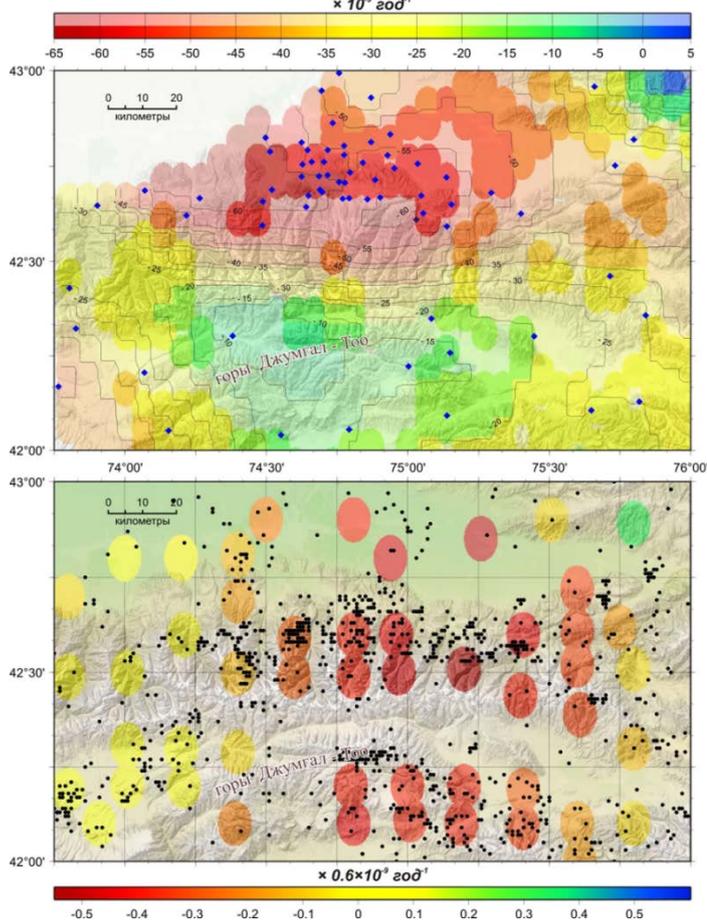


Рис. 12. Распределение скорости суммарной горизонтальной деформации (цветные овалы) за 1998-2014 гг. наблюдений на территории Центрального Тянь-Шаня: верхний – по данным приповерхностных GPS наблюдений, синие ромбики – GPS пункты; нижний – по сейсмологическим данным, черные точки – землетрясения с решениями механизмов очагов (глубины 5-20 км).



Рис. 13. Структурно-геологическая схема зоны сочленения Киргизского хребта и Чуйской впадины.

1 – четвертичные отложения (включая шарпылдакскую серию N_2-Q_1); 2 – палеоген-неогеновые отложения; 3 – палеозойский фундамент; 4-6 – разломно-флексурные зоны: 4 – главные, 5 – по геофизическим данным, 6 – прочие; 7 – участки проявления оползневых процессов: Сукулукский (1) и Чункурчакский (2).

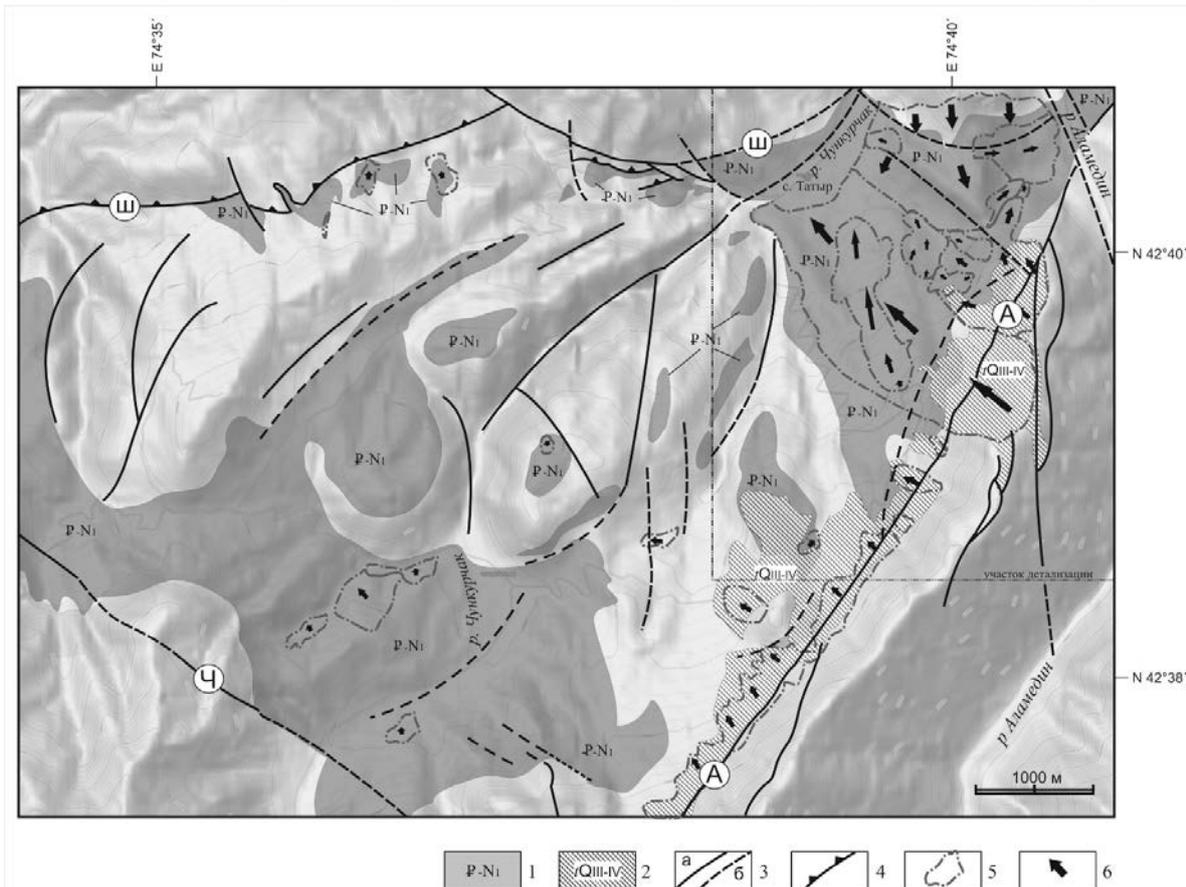


Рис. 14. Локализация и основные факторы геологического контроля оползневых процессов в долине реки Чункурчак (междуречье р. Аламедин и Ала-Арча).

1 – область распространения красноцветных песчано-глинистых отложений (четвертичный чехол снят); 2 – склоновые шлейфы тектонически дезинтегрированных ордовикских гранитов (тектоно-гравитационные микститы); 3 – крутопадающие разломы: достоверные (а) и предполагаемые (б); 4 – надвиги; 5 – контуры оползней; 6 – направления и осредненные величины перемещения пород в оползнях. Главные разломы (буквы в кружках): А – Аламединский, Ч – Чункурчакский, Ш – Шекуленский.

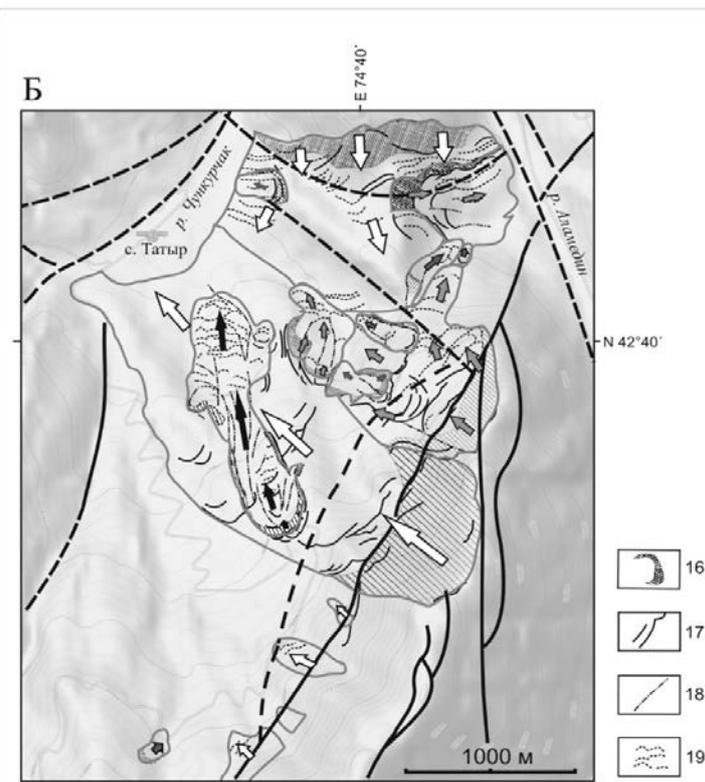
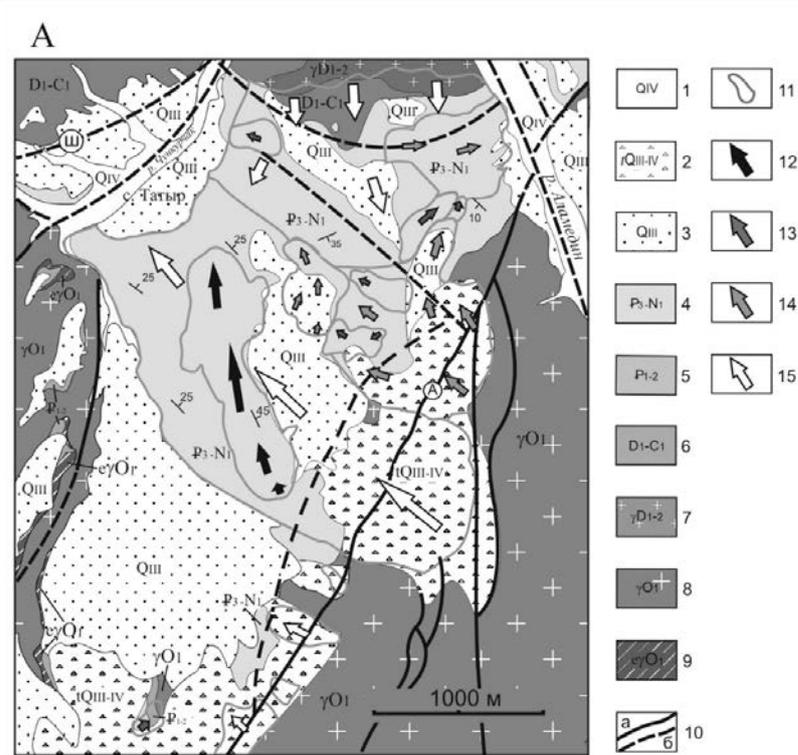


Рис. 15. Геологическая карта участка проявления разновозрастных оползней (А) и структуры оползневых тел (Б) в районе с. Татыр.

1 – голоценовые аллювиальные отложения; 2 – плейстоцен-голоценовые тектоно-гравитационные микститы; 3 – среднеплейстоценовые отложения; 4 – киргизская серия; 5 – коктурпакская серия; 6 - девонско-каменноугольные отложения нерасчлененные; 7 - ранне-среднедевонские граниты; 8 – раннеордовикские гранитоиды; 9 - кора выветривания раннеордовикских гранитоидов; 10 – разломы установленные (а) и предполагаемые (б); 11 – контуры оползневых тел; 12 – 15 – векторы перемещения масс пород в разновозрастных оползнях: 12 – современные; 13 - исторические поздние; 14 – исторические ранние; 15 – древние и предполагаемые; 16 – 19 - структурные элементы оползней: 16 – зеркала; 17 – трещины отрыва; 18 – зоны сдвигов на границах потоков; 19 – террасы и валы нагнетания.

Библиографический список всех публикаций по Проекту

Кожогулов К. Ч., Рыбин А. К. О проблеме исследования опасных экзогенных геологических процессов Тянь-Шаня // Доклады НАН КР, 2015. №1. С. 36-40.

Работа посвящена рассмотрению теоретических и практических аспектов проблемы исследования опасных экзогенных геологических процессов (на примере изучения оползневой деятельности горных склонов Тянь-Шаня). Дается понятие экзогенного процесса. Предлагается рациональная методика наблюдений, основанная на комплексном проведении геомеханических и геоэлектрических исследований оползневых процессов в Тяньшанском регионе. Обсуждаются практические результаты выявления и прогноза оползневой активности отдельных горных склонов в Кыргызстане.

Рыбин А.К., Баталева Е.А., Леонов М.Г., Пржиялговский Е.С., Кожогулов К.Ч., Никольская О.В., Мамыров Э.М. Современная геодинамическая активность земной коры Северного Тянь-Шаня и опасные геологические процессы // Вестник КРСУ. г. Бишкек. 2016. (в печати).

Представлены результаты детального структурно-геологического картирования на участках проявления опасных геологических процессов Северного Тянь-Шаня. Рассмотрены геодинамические характеристики геосреды, выявленные в полученных вариациях параметров различных геофизических полей на исследуемой территории. Определены геологические предпосылки возникновения оползневых процессов и роль тектонической активности в локализации оползней. Приведена геомеханическая оценка оползневой опасности покровных образований на горных склонах. Обсуждены геодинамическая природа и возможные механизмы опасных геологических процессов Северного Тянь-Шаня.

Мансуров А.Н., Рыбин А.К. Поле скорости современных деформаций Чуйской впадины по данным космической геодезии // Материалы докладов Шестого международного симпозиума «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов» (23-29 июня 2014 г., г. Бишкек). Бишкек: ИС РАН, 2015. С. 84-89.

В данной работе по результатам GPS измерений, выполненных сотрудниками Научной станции РАН, проведены расчеты поля деформаций Чуйской впадины. По результатам расчетов построено двумерное поле скорости современных деформаций, проведен анализ пространственного распределения деформаций.

Пржиялговский Е.С. Геологические факторы локализации оползней в районе Бишкекского геодинамического полигона в предгорьях Киргизского хребта // Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты. Материалы XLVII Тектонического совещания. Том II. – М.: ГЕОС, 2015. С. 54-57.

Проведенные структурно-геологические полевые исследования и геоморфологический анализ детальных космических снимков предгорий Киргизского хребта в районе Бишкекского геодинамического полигона были направлены на уточнение участков локализации оползневых процессов, проявившихся в течение исторического периода и изучение геологических предпосылок их возникновения. Помимо состава приповерхностных отложений важную роль в локализации оползней играют факторы современной тектонической активности разломов и возникновение тектонически дезинтегрированных кластитов.

Пржиялговский Е.С., Кузиков С.И. Детальные морфоструктурные исследования в районе Бишкекского геодинамического полигона // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Материалы докладов 6 Международного симпозиума, г. Бишкек. ИС РАН. 2015. С. 11-17.

Морфоструктурные исследования, проведенные в предгорьях северного склона Киргизского хребта в зоне наиболее градиентных вертикальных неотектонических движений, базировались на определении высотных отметок и наклонов останцев

раннепалеозойской террасы, трассируемой по горизонту кровли валунных отложений шарпылдакской свиты. Современные уступы и перекосы отдельных блоков поверхности террасы рассматривались как результат постшарпылдакских тектонических деформаций палеозойского фундамента.

Пржиялговский Е.С., Лаврушина Е.В., Леонов М.Г. Деформации кайнозойского чехла и кровли палеозойского фундамента в южном борту Чуйской впадины (Северный Тянь-Шань // Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ. Материалы XLVIII Тектонического совещания (в печати).

Изучены структуры альпийской активизации палеозойского фундамента (деформации кровли, морфоструктура, внутренняя структура) и кайнозойского чехла в прибортовых частях Чуйской впадины (Северный Тянь-Шань). Полученные данные свидетельствуют о высокой объемной пластичности деформаций в палеозойских породах, прежде всего ордовикских гранитах и гранодиоритах, на этапе альпийской активизации Северного Тянь-Шаня.

Лаврушина Е.В., Пржиялговский Е.С. Реконструкция параметров палеонапряжений и стрессовых режимов в дезинтегрированных гранитоидах северного склона Киргизского хребта// Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ. Материалы XLVIII Тектонического совещания (в печати).

Изучена статистика ориентировок трещинных систем и кинематических индикаторов смещений в гранитах палеозойского фундамента обрамления Чуйской впадины (Киргизский хребет, Северный Тянь-Шань). На основании полевых замеров в точках наблюдений были реконструированы параметры поля тектонических напряжений этапа позднекайнозойской тектонической активизации фундамента. Различие полей палеонапряжений на локальных участках согласуется с различиями в строении бортовой зоны впадины.