

Форма 503. РАЗВЕРНУТЫЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ

3.1. Номер проекта

12-05-00550

3.2. Название проекта

Разработка методики выделения участков метастабильного состояния разломов Северного Тянь-Шаня методами геодезии и тектонофизики

3.3. Коды классификатора, соответствующие содержанию фактически проделанной работы

05-431

3.4. Объявленные ранее (в исходной заявке) цели проекта на 2014 год

1. На основе разработанного метода стабилизации 3-мерных координат будут получены максимально устойчивые временные ряды координат для пунктов локальной Бишкекской сети и рассчитаны векторы скорости за доступный интервал наблюдений до 2012г. Сопоставление GPS результатов с метастабильными участками активных разломов.

2. В 2013 году планируется завершить разработку методики 3-мерной увязки данных линейно-угловых измерений на детальных площадках и получить временные ряды локальных координат за 2012-2013гг. для последующего сопоставления с результатами исследований тектонофизическими методами.

3. Будет выполняться проверка участков разломов, выделенных в предыдущем году как потенциально опасных (метастабильные), с позиции данных GPS-геодезии.

4. Оценка амплитуд эрозии северного склона Киргизского хребта в районе НС РАН в г. Бишкеке и сопоставление математических моделей напряженного состояния в областях активных экзогенных процессов (совместно с проектом РФФИ 13-05-00892а рук. Ю.Л.Ребецкий) с данными о напряженном состоянии разломов полученным по результатам исследований 2012-2013 годов.

3.5. Степень выполнения поставленных в проекте задач

Заявленные в проекте цели и задачи на 2014 год и на весь проект выполнены полностью в рамках выделенного на проект финансирования.

3.6. Полученные за отчетный период важнейшие результаты

1. По результатам выполненных ранее работ установлено, что коре центральной части Северного Тянь-Шаня, как по сейсмологическим данным, так и по данным GPS-геодезии практически повсеместно отвечает состояние горизонтального сжатия, и лишь в малых участках – сжатия со сдвигом. По этим же данным в коре восточной и западной частях Северного Тянь-Шаня преобладают обстановки горизонтального сдвига, сдвига с растяжением и горизонтального растяжения. При расчете тензора скорости общих деформаций начинает повсеместно преобладать режим горизонтального сжатия. Такое преобладание наблюдается и в данных о природных напряжениях, когда его реконструкция ведется только по данным о механизмах относительно сильных событий (в данном случае для $M > 4.5$).

2. Важным условием для выполнения проекта была необходимость построения цифровой карты активных разломов с численными параметрами падения для исследуемой области Центрального Тянь-Шаня (41.95÷43.05 с.ш. и 73.60÷76.20 в.д.). При этом из сети разрывных нарушений были выделены только активные в последний орогенный этап развития, нарушающие кайнозойские образования и структуры. Вынесенные в плане осевые линии 102 разломов (участков разломов) были оцифрованы в географических координатах. Каждому отдельному разлому (сегменту) были приданы направление падения и усредненного угла погружения его плоскости. Для решения выше обозначенных задач использовались личные наблюдения участников проекта, результаты компиляции картографического и текстового материала по территории исследования. При этом было проанализировано более 50 листов различных

геологических, тектонических карт и схем от 1:50 000 до 1:500 000 масштаба по территории Киргизии и южных приграничных районов Казахстана.

3. В 2014 году были завершены исследования по тектонофизическому районированию активных разломов Северного Тянь-Шаня. Исследовались вариации кулоновых напряжений на разломах, вызываемые ошибкой оценки углов погружения разломов. Было показано, что уменьшение на 10 град углов погружения активных разломов относительно прогнозируемых приводит к расширению ареала опасных разломов в 30-40% области. Увеличение углов погружения активных разломов относительно прогнозируемого приводит к увеличению длин опасных разломов на 10% области. Это показывает, что закладываемые в созданную карту разломов углы погружения могли эволюционировать под воздействием горизонтальных сжимающих сил в процессе деформирования коры Северного Тянь-Шаня от значений, отвечающих углам скалывания горных пород.

4. Как показывают данные многолетних GPS наблюдений, устойчивые среднегодовые движения земной коры Северного Тянь-Шаня не значительно превышают порог точности методов наблюдения, поэтому вопрос точности и адекватности геодезических данных имеет первостепенное значение для последующего их анализа и интерпретации. В 2014г помимо плановых работ по измерению локальных и региональных GPS пунктов, была проведена обработка данных GPS измерений за 1994-2013гг на базе программного комплекса GAMIT/GLOBK, с последующей стабилизацией координат. На исследуемой территории (73.67° - 76.12° в.д. и 41.94° - 43.03° с.ш.) построено ~80 векторов скорости в системе отсчета EURA-2008 с оценкой ошибок (стандартные отклонения) <1 мм/год в горизонтальном плане. Распределение пунктов наблюдения по площади исследования неравномерно, большее количество векторов скорости сосредоточено в пределах Бишкекской локальной GPS сети с охватом территории ~100 км по долготе и ~50 км по широте. Только на территории локальной GPS сети отдельные сегменты разломов с обоих бортов могут быть охарактеризованы векторами скорости. По имеющимся данным только центральная часть Исыккатынского разлома с повышенным значением редуцированных кулоновых напряжений отвечает сравнительно заметному изменению в поведении нескольких векторов скорости южнее и севернее напряженного сегмента. При этом, по сравнению с южным крылом разлома, на северном наблюдается уменьшение северной компоненты движения на 1-2 мм/год и увеличение западной составляющей движения на 0.5-1.5 мм/год. Других заметных связей между вариациями векторов скорости и напряженным состоянием разломов на исследуемой территории не обнаружено. Очевидно, что причина этого кроется в недостаточной плотности GPS пунктов и их случайному положению относительно шовных зон разрывных нарушений. Для оценки приповерхностных движений в зонах разломов с повышенным напряженным состоянием необходима установка дополнительных пунктов GPS наблюдений по обе стороны от шва исследуемого сегмента разлома. Что выполнить в рамках данного проекта и уровня финансирования не представлялось возможным.

5. Для детальных наблюдений за режимом деформирования на отдельных ориентированных участках Шамсинского активного разлома с июня 2012г и по декабрь 2014г на фундаментальных площадках POLIGON, KENTOR и ALMALY еженедельно проводился комплекс геодезические наблюдений. Основным инструментом здесь исследований являются еженедельные линейно-угловые измерения (ЛУИ) при помощи электронных тахеометров. Нами реализован интерфейсный вариант программы для преобразования кодированных GSI файлов в обычные табличные данные, с возможностью автоматической верификации и корректировки данных. Разработан алгоритм увязки прямых и обратных измерений, используя полный объем избыточных измеренных данных. Еще одной проблемой на пути к качественному анализу данных ЛУИ является пространственная увязка длин, вертикальных и горизонтальных углов

базовых линий площадки за один цикл измерений. Имея полный набор таких данных можно определить пространственные параметры любого репера относительно другого репера несколькими вариантами наборов данных. На сегодняшний день решение данной задачи находится в стадии пробных расчетов различных вариантов алгоритмов увязки данных ЛУИ.

На основе данных ЛУИ на 3-х геодезических площадках удалось установить, что уровень отдельных актов упругой деформации может достигать до $\sim 6 \times 10^{-5}$. На разном удалении (от первых сотен метров до первых километров) от центральной шовной линии разлома могут проявляться разные кинематические и деформационные особенности современных движений земной коры. Отмечается повышенное проявление суммарной деформации в крест простирания зоны активного разлома. Для всех площадок проекции суммарных деформаций укорочения и удлинения примерно равны для всех направлений, что свидетельствует в пользу преимущественного упругого характера здесь деформирования. Полученные данные имеют важное фундаментальное значение в представлении о локальных деформационных проявлениях на сегментах активных разломов, но полученной информации не достаточно для сравнения с результатами тектонофизического анализа.

6. Для северного склона Киргизского хребта в районе ИС РАН выполнялся морфометрический анализ рельефа и воссоздание морфоструктурного облика тектонических структур на различных этапах неотектонической истории. Применение автоматизированной в компьютерном алгоритме методики морфометрического анализа В.П. Философова для Тянь-Шаня делается впервые. Были построены карты остаточных высот рельефа за разные геоморфологические этапы, соответствующие геохронологическим отрезкам времени различной длительности; карты сноса, характеризующие общую величину эрозионно-денудационного сноса горных пород в пределах водосборных бассейнов разного порядка. Работа выполнена совместно с к.геол.-мин.н. И.Нугмановым (Казанский ГУ). Эти данные были использованы в дальнейшем для оценки остаточных напряжений вызванных денудацией поверхности. Показано, что уровень остаточных напряжений гравитационного напряженного состояния, базирующийся на усредненных амплитудах эрозии по всему северному склону Киргизского хребта, отвечает 100-150 бар, а на данных по эрозии отдельных речных долин дает остаточные напряжения порядка 300 - 400 бар.

3.7. Степень новизны полученных результатов

Северный Тянь-Шань является первым регионом, для которого выполнялись оценки энергетической насыщенности разломных зон, выделяемых как полевыми геологическими методами, так и по сейсмологическим данным.

Подобный подход стал возможным в связи с созданием электронной карты разломов Северного Тянь-Шаня, содержащей не только данные об их простирании с шагом в первые километры, но и об углах погружения разломов. На территории бывшего СССР нам неизвестны районы, для которых подобная работа была бы сделана - данная работа является пионерской.

Впервые выполнялось сопоставление данных инструментальных геодезических наблюдений с данными о напряжениях для разломов. Создание малых геодезических площадок на сегментах разломных зон на основе тектонофизического прогноза активных участков разломов следует рассматривать как существенную новизну в методах исследования.

При обработке GPS данных использовались новые методы стабилизации координат, позволяющие существенно сократить интервалы случайных их вариаций. Выработана методика режимных линейно-угловых площадных наблюдений и увязки полученных данных. Впервые для Тянь-шаньского региона оценен уровень и характер деформации на отдельных сегментах активных разломов.

3.8. Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем

Одним из основных элементов проекта является разработка тектонофизических методов сейсморайонирования. В настоящее время подобные подходы развиваются только в работах российских тектонофизиков. Начало им положено работами М.В.Гзовского, который, развивая геологические (тектонофизические) критерии сейсмической опасности, опирался на параметры, косвенно характеризующие напряженно-деформированное состояние коры или верхних ее слоев. Он к таковым относил: градиенты скорости тектонических движений; рельеф тектонического происхождения; вулканическую деятельность; уровень касательных напряжений; длительности действия предельных напряжений; направленность изменений деформационного режима и напряженного состояния. В рамках настоящего проекта выполнено развитие идей М.В. Гзовского по выявлению сейсмоопасных областей на основе использования напряженного состояния земной коры, получаемого тектонофизическими методами из данных о механизмах очагов землетрясений и данных о простирании и углах погружения разломов.

Автор этого подхода Ю.Л. Ребецкий в начале нулевых годов неоднократно приглашался в USGS для работы в лаборатории Seismic Hazard Северной Калифорнии (рук. Уолтер Муни). Там он сотрудничал и Дж.Хардебекк, которая до сих пор является лидером USGS в исследовании напряженного состояния в сейсмоопасных областях. В настоящем проекте данный подход реализован, а, насколько нам известно, работы американских ученых остались на прежнем уровне – определение ориентаций главных осей напряжений.

Особо следует отметить, что созданные цифровые карты с данными о простираниях и углах погружения разломов Северного Тянь-Шаня также следует рассматривать как важнейшее достижение проекта. Подобного типа карты имеются только для Калифорнии (США) и Японии. В нашем проекте впервые построены карты распределения кулоновых напряжений на разломах. Можно констатировать создание нового тектонофизического подхода в районировании сейсмической опасности разломов. Он опирается на «посадку» результатов реконструкции современного напряженного состояния на исследуемые разломы. Подобный анализ в работах М.В. Гзовского не делался, не делается он сейчас и в работах зарубежных исследователей и поэтому может рассматриваться как пионерский.

Поскольку устойчивые среднегодовые движения земной коры Северного Тянь-Шаня не значительно превышают порог точности геодезических методов наблюдения, то задача повышения точности геодезических данных имеет важное значение для последующего их анализа. В настоящее время, обновление измерительной аппаратуры не дает существенного повышения точности данных наблюдения, более эффективными при этом являются новые методы обработки данных. В частности, для GPS данных динамическая (суточная) стабилизация координат позволяет в 3-5 раз повысить точность локального позиционирования наблюдаемых объектов. Аналогичным образом, методы увязки избыточных данных линейно-угловых наблюдений дают возможность избавиться от повышенных значений случайных вариаций измеряемых величин. Нам не известны подобные подходы для обработки геодезической информации при геодинимических прецизионных наблюдениях.

3.9. Методы и подходы, использованные в ходе выполнения проекта

Одним из основных условий выполнения заключительного этапа проекта была необходимость наличия карты активных разрывных нарушений, охарактеризованных численными параметрами. Для составления карты активных разломов исследуемой области Центрального Тянь-Шаня (41.95÷43.05 с.ш. и 73.60÷76.20 в.д.) необходимо было решить ряд проблемных задач. Сначала из сети разрывных нарушений нужно было выделить только активные в последний орогенный этап развития, нарушающие кайнозойские образования и структуры. Затем потребовалось корректно вынести пространственное положение в плане осевых линий разломов для данного масштаба и

их оцифровать в географических координатах. После этого, решалась проблема придания плоскости разлома его направление падения и усредненного угла его погружения. Для решения выше обозначенных задач использовались личные наблюдения участников проекта, результаты компиляции картографического и текстового материала по территории исследования. При этом было проанализировано более 50 листов различных геологических, тектонических карт и схем от 1:50 000 до 1:500 000 масштаба по территории Киргизии и южных приграничных районов Казахстана. При отсутствии количественных данных об измерениях углов погружения, эти данные высчитывались по сечению линией разлома горизонталей топографической основы. В отдельных случаях, информация по падению плоскости разрывного нарушения была получена посредством анализа геологической и тектонической обстановки.

При районировании разломов по их энергетическому потенциалу используется метод катакластического анализа разрывных смещений (МКА), разработанный в ИФЗ РАН и позволяющий получать данные не только о полном тензоре напряжений, но и о тензоре приращений сейсмотектонических деформаций [Ребецкий, Доклады РАН, 1997, Т.354, №1.; Ребецкий, Доклады РАН, 2003, Т.3, №2]. Данные об относительных величинах шаровой и девиаторной компонентах тензора напряжений позволили произвести оценку энергетической насыщенности разломов. Этот метод, единственный из существующих тектонофизических методов, позволяет производить идентификацию одной из двух нормальных плоскостей очага. Что использовалось в настоящем проекте для определения углов погружений в глубине коры для разломов, определенных геологическими методами на поверхности.

Для получения корректных координат и векторов скорости применен оригинальный метод стабилизации координат на выходе из программного комплекса GAMIT/GLOBK, который повышает точность относительного позиционирования. Разработаны варианты алгоритмов увязки линейно-угловых измерений для детальных площадок и преобразования этих данных в локальные 3-х мерные координаты для оценки деформационной устойчивости площадок, расположенных на сегментах активных разломов.

3.10.1.1. Количество научных работ, опубликованных в ходе выполнения Проекта (за весь период выполнения Проекта, цифрами)

42

3.10.1.2. Из них включенных в перечень ВАК

17

3.10.1.3. Из них включенных в системы цитирования (Web of science, Scopus, Web of Knowledge, Astrophysics, PubMed, Mathematics, Chemical Abstracts, Springer, Agris, GeoRef)

14

3.10.2. Количество научных работ, подготовленных в ходе выполнения проекта и принятых к печати в 2014 г.

2

3.11. Участие в научных мероприятиях по тематике проекта, которые проводились при финансовой поддержке Фонда

"Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов", VI Международный симпозиум 23-29 июня 2014г, Научная станция РАН, г.Бишкек, Киргизстан.

3.12. Участие в экспедициях по тематике проекта, проводимых при финансовой поддержке Фонда

14-05-10058к

3.13.1. Финансовые средства, полученные от РФФИ в 2014 году:

350000 руб.

3.13.2. Финансовые средства, полученные от РФФИ в 2013 году:

360000 руб.

3.13.3. Финансовые средства, полученные от РФФИ в 2012 году:

385000 руб.

3.14. Адреса (полностью) ресурсов в Internet, подготовленных авторами по данному проекту

3.15. 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.:

1. Rebetsky Yu. L., Kuchai O.A., Sycheva N.A., Tatevossian R.A.. Development of inversion methods on fault slip data Stress state in orogenes of Central Asia // Tectonophysics. 2012. V. 581. P. 114-131.

2. Marinin A.V., Saintot A. Comparison of methods to reconstruct paleostress regimes in the NW-Greater Caucasus fold-and-thrust belt // Comptes Rendus Geoscience. 2012. V. 344. №3-4. P. 181-190. doi: 10.1016/j.crte.2012.01.004.

3. Rebetsky Yu.L. Achievements of tectonophysics researches in Russia: perspective tectonophysics problems // Comptes Rendus. Geoscience. 2012. Vol. 344. No 3-4. P.116-124.

4. Сычева Н.А., Кузиков С.И. Анализ скоростных моделей литосферы Тянь-Шаня и метод двойных разностей при определении положения гипоцентров землетрясений по данным сейсмологической сети KNET // Геофизические исследования. 2012. Т.13. №2. С.5-22.

5. Сычева Н.А., Богомолов Л.М., Сычев В.Н. Геоинформационные аспекты анализа потоков сейсмических и акустоэмиссионных событий как реализаций случайных процессов // Геоинформатика. №2. 2012. с.29-39.

6. Ischuk A., Bendick R., Rybin A., Molnar P., Khan S., Kuzikov S., Mohadjer S., Saydullaev U., Piyasova Z., Schelochkov G. and Zubovich A. Kinematics of the Pamir and Hindu Kush regions from GPS geodesy // JGR: Solid Earth. May 2013. Vol. 118. Issue 5. Pp. 2408–2416. doi:10.1002/jgrb.50185.

7. Rebetsky Y.L., Tatevossian R.E. Rupture propagation in strong earthquake sources and tectonic stress field // Bull. Soc. Geol. Fr. 2013. Vol. 184, No 4-5. P. 335-346.

8. Ребецкий Ю.Л., Кучай О.А., Маринин А.В. Напряженное состояние и деформации земной коры Алтае-Саянской горной области // Геология и геофизика. 2013. т. 54. №2. с.271-291.

9. Маринин А.В. Тектонофизические исследования Семисамской антиклинали (Северо-Западный Кавказ) // Geodynamics & Tectonophysics. 2013. № 4. С.461-484.

10. Макагон М.Ю., Сычева Н.А. Программный комплекс расчета стационарных поправок (сайт-эффект) станций на основе сейсмического шума // Вестник КРСУ (Кыргызско-Российский Славянский университет). 2013. Том 13. №7. С.90-96

11. Богомолов Л.М., Сычёв В.Н., Сычёва Н.А. Сейсмологические приложения нестандартного статистического анализа // Вестник Дальневосточного отделения РАН // 2013. №3. С19-25.

12. Ребецкий Ю.Л. Об одном неучтенном источнике энергии тектонических процессов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2013. № 1. Вып. 21. С.133-137.

13. Сычева Н.А. Богомолов Л.М. Падение напряжения в очагах среднемагнитудных землетрясений в Северном Тянь-Шане // Физика Земли, 2014. №3. С.142-153.

14. Ребецкий Ю.Л., Алексеев Р.С. Тектоническое поле современных напряжений Средней и Юго-Восточной Азии // Geodynamics & Tectonophysics, 2014. Т.5, вып. 1. С.257–290.

15. Ребецкий Ю.Л., Полец А.Ю. Напряженное состояние литосферы Японии перед катастрофическим землетрясением Тохоку 11.03.2011 // Geodynamics & Tectonophysics, 2014. Т. 5, вып. 2. С. 469-506.

16. Ребецкий Ю.Л. О неустойчивости слоистых сред в условиях гравитационного напряженного состояния // Геология и Геофизика, 2014. №9. С.1446-1454.

17. Rebetsky Yu.L. Instability of Layered Media under Gravity Stress // *Russ.Geol. and Geophys.* 2014. Vol. 55. P. 1146-1152.
18. Rebetsky Yu.L., Mikhailova A.V. Deep Heterogeneity of the Stress State in the Horizontal Shear Zones // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2014, Vol. 50, No. 6, pp. 824–838.
19. Сим Л.А., Сычева Н.А., Сычев В.Н., Маринин А.В. Особенности палео- и современных напряжений Северного Тянь-Шаня // *Физика Земли*, 2014. №3. С.127-141.
20. Кузиков С.И. Методические задачи и проблемы точности GPS наблюдений (на примере Бишкекского геодинамического полигона) // *Физика Земли*, 2014, № 6, с. 55–69.
21. Kuzikov S.I. Methodical Questions and Accuracy Problems of GPS Observations by the Example of the Geodynamic Proving Ground in Bishkek // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2014, Vol. 50, No. 6, pp. 770–784.
22. Ребецкий Ю.Л., Полец А.Ю. Напряженное состояние литосферы Японии перед катастрофическим землетрясением Тохоку 11.03.2011 // *Geodynamics & Tectonophysics*, 2014. Т. 5. Вып.2. С.469-506.
23. Ребецкий Ю.Л. О неустойчивости слоистых сред в гравитационном поле напряжений // *Доклады академии наук*, 2014. Том 457. № 2. С.217–221.
24. Кузиков С.И. Методические задачи и проблемы GPS наблюдений (на примере Бишкекского геодинамического полигона) // *Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Третья тектонофизическая конференция. Материалы докладов конференции 8-12 октября 2012 г. М.: Изд. ИФЗ РАН. 2012. Т. 1. С. 181-185.*
25. Образцова Т.С., Кузиков С.И. Варианты обработки экспериментальных GPS-измерений // *Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Материалы 5 Международного симпозиума, г.Бишкек, 19-24 июня 2011 г. Бишкек: ИС РАН. 2012. Т.1. С.89-95.*
26. Сычева Н.А., Ребецкий Ю.Л., Сычев В.Н. Анализ напряженно-деформированного состояния Центрального Тянь-Шаня по сейсмологическим данным // *Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Материалы 5 Международного симпозиума, г.Бишкек, 19-24 июня 2011 г. Бишкек: Изд. ИС РАН. 2012. Т.2. С.113-119.*
27. Сычева Н.А., Кальметьева З.А. Мансуров А.Н., Сычев В.Н. Методические особенности определения динамических параметров землетрясений по данным сейсмологической сети KNET (Северный Тянь-Шань) // *Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Третья тектонофизическая конференция. Материалы докладов конференции 8-12 октября 2012 г. М.: Изд. ИФЗ РАН. 2012. Т.2. С.185-190.*
28. Сим Л.А., Сычева Н.А., Сычев В.Н., Маринин А.В. Особенности палео- и современных напряжений Северного Тянь-Шаня // *Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Третья тектонофизическая конференция. Материалы докладов конференции 8-12 октября 2012 г. М.: Изд. ИФЗ РАН. 2012. Т.1. С.236-240.*
29. Маринин А.В., Сим Л.А., Сычева Н.А., Сычев В.Н. Реконструкция палеонапряжений северного склона Киргизского хребта методом катакластического анализа // *Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы третьей тектонофизической школы-семинара. – М.: ИФЗ, 2013. Т.1. С. 219-223.*
30. Сим Л.А., Маринин А.В. Основные достижения полевой тектонофизики за 60 лет (1953-2013) // *Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы третьей тектонофизической школы-семинара. – М.: ИФЗ, 2013. Т.2. С.113-131.*
31. Сим Л.А., Жиров Д.В., Маринин А.В. История и результаты изучения тектонических напряжений Кольского региона полевыми тектонофизическими методами // *Геология и полезные ископаемые Кольского региона. Труды X Всероссийской Ферсмановской научной сессии, посвященной 150-летию со дня рождения акад. В.И. Вернадского, 7-10 апреля 2013 г. Апатиты: Изд-во К&М, 2013. С. 96-99.*

32. Гражданкин А.М., Мажников М.С. Технические аспекты обработки GPS-данных Центрально-Азиатской сети // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы докладов 5-ой международной конференции молодых ученых и студентов 24-25 апреля 2013 года г. Бишкек. 2013. С. 41-45.
33. Гражданкин А.М. Информационная система по работе с GPS данными Центрально-Азиатской сети (Бишкек, ИС РАН) // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы докладов 5-ой международной конференции молодых ученых и студентов 24-25 апреля 2013 года г. Бишкек: ИС РАН. 2013. С.45-50.
34. Сим Л.А., Добрецов Н.Л., Ребецкий Ю.Л., Маринин А.В., Сычева Н.А., Сычев В.Н. Палео- и современное напряженное состояние складчатых областей Евразии // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения. Материалы XLVI Тектонического совещания Том I. М.: ГЕОС, 2014. С.179-182.
35. Сычева Н.А., Богомоллов Л.М. Фокальные механизмы и динамические параметры очагов умеренных землетрясений Северного Тянь-Шаня //Тезисы докладов Конференция, посвященная 50-летию сейсмологического мониторинга Сибири. Новосибирск, 21 ? 25 октября 2013 г. С. 96-100.
36. Богомоллов Л.М., Сычев В.Н., Сычева Н.А. О проявлениях геоэффективных солнечных вспышек и магнитных бурь в вариациях уровня сейсмического шума// Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений. Сб.тез.докл. IV международной конференции. Отв. ред. Б.М. Шевцов.2013.С53-54.
37. Sycheva N.A. Determination of dynamic parameters of earthquakes in relevance to development of stress reconstruction method by the data of North Tien Shan territory. "The Eighth Tianshan International Symposium on Earthquake Research" Sept. 23-26, 2013. P.134.
38. Mazhnikov M. S. Software for Planning GPS Measurements // The Eighth International Symposium on Tianshan Earthquakes, Collection of Paper Abstracts, September 23-26, 2013, Urumqi, China. 2013. P. 229-230.
39. Grazhdankin A. M. Information System of CA GPS- Network // The Eighth International Symposium on Tianshan Earthquakes, Collection of Paper Abstracts, September 23-26, 2013, Urumqi, China. 2013. P. 211-212
40. Kuzikov S.I. Modern movements of earth crust on Bishkek geodynamic polygon // The Eighth Tianshan Seismic International Symposium on Earthquake Research (Abstracts). China, Urumqi, 23-26 September 2013. Pp. 310-311.
41. Ребецкий Ю.Л., Сычева Н.А., Сычев В.Н., Кузиков С.И., Маринин А.В. Напряженное состояние коры Северного Тянь-Шаня по данным сейсмической сети KNET // Геология и геофизика, 2015 (в печати).
42. Ребецкий Ю.Л., Овчаренко О.О., Саввичев П. Поле современных напряжений коры юго-западной Европы и Средиземноморья // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2014 № 2. выпуск № 24 (в печати).
- 3.16. *Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ, в котором, по мнению исполнителей, могут быть использованы результаты данного проекта*
рациональное природопользование
- 3.17. *Критическая технология РФ, в которой, по мнению исполнителей, могут быть использованы результаты данного проекта*
Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения
- 3.18. *Основное направление технологической модернизации экономики России, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта*
не очевидно

Подпись руководителя проекта

Материал, в научно-популярной форме иллюстрирующий основные результаты проекта (1-2 страницы, аналогично стендовому докладу), а также аннотации публикаций, рисунки, формулы, карты и т.д., если таковые имеются

Карта активных разломов Северного Тянь-Шаня для исследуемой территории (41.95÷43.05 с.ш. и 73.60÷76.20 в.д.) представлена на рис. 1.

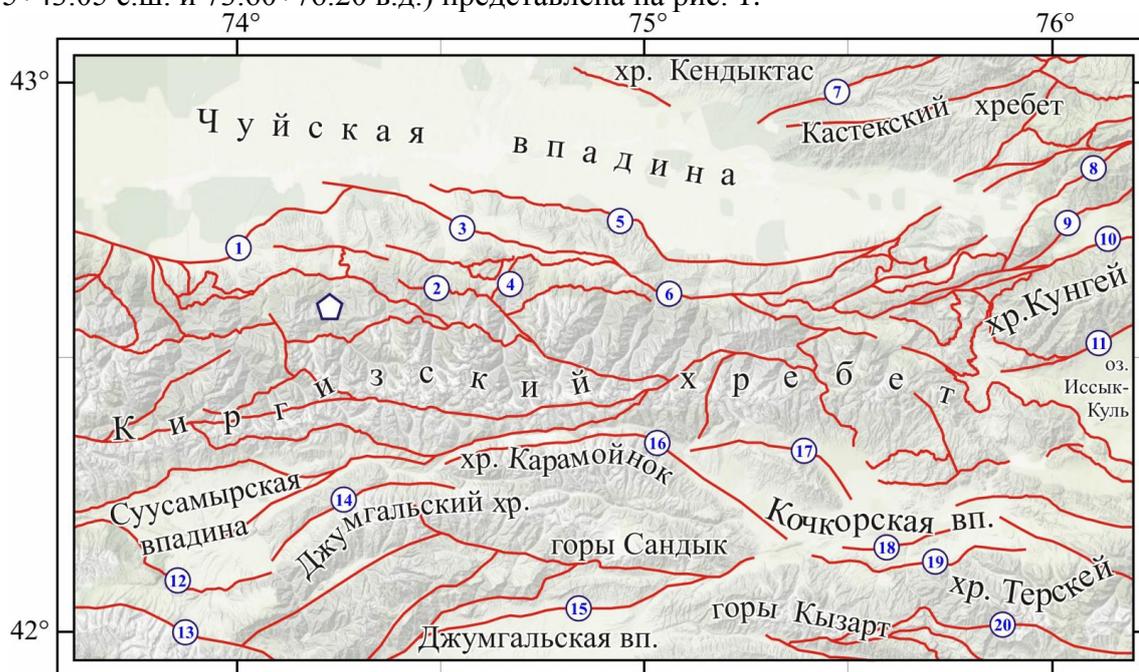


Рисунок 1. Карта активных разломов Северного Тянь-Шаня (по С.И. Кузикову).

На территории исследования было выделено и оцифровано 102 разломных сегмента, к каждому из них были выполнены дополнительные исследования для присвоения разным сегментам разломов постоянных значений углов погружения (рис. 2).

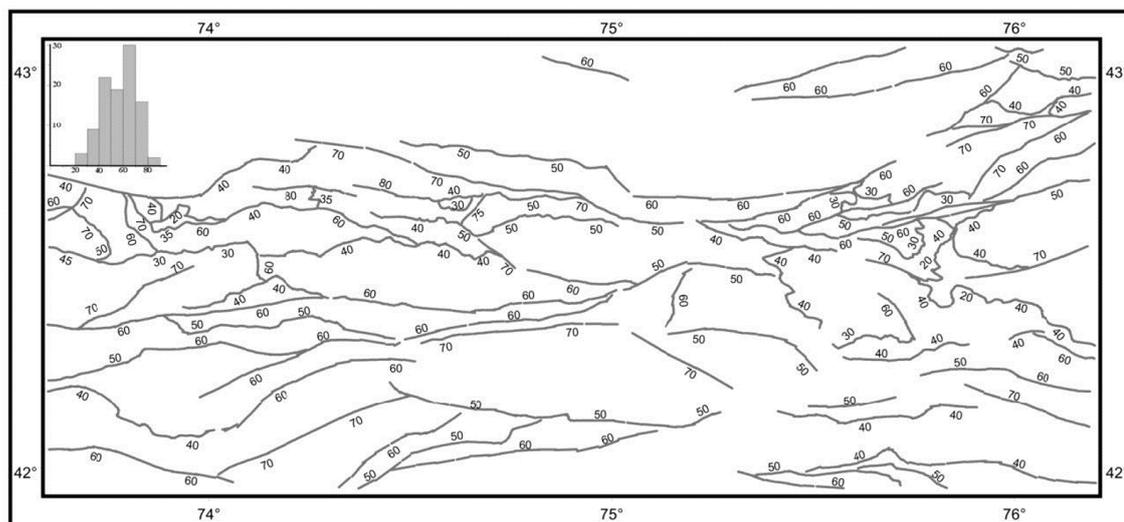


Рисунок 2. Оцифрованная карта разломов Северного Тянь-Шаня (по С.И. Кузикову) с указанием углов погружения разломов. Углы погружения поставлены со стороны «висячего» крыла разлома и показывают направление и угол его погружения. Вверху слева приведена диаграмма распределения числа участков разломов с разными углами погружения.

Для оценки точности районирования по кулоновым напряжениям расчеты выполнялись не только для углов погружения, представленным на рис. 2, но и для углов,

отличающихся от этих значений на 10° в большую и меньшую сторону. На рис. 3 показан только вариант, соответствующий углам погружения как на рис. 2.

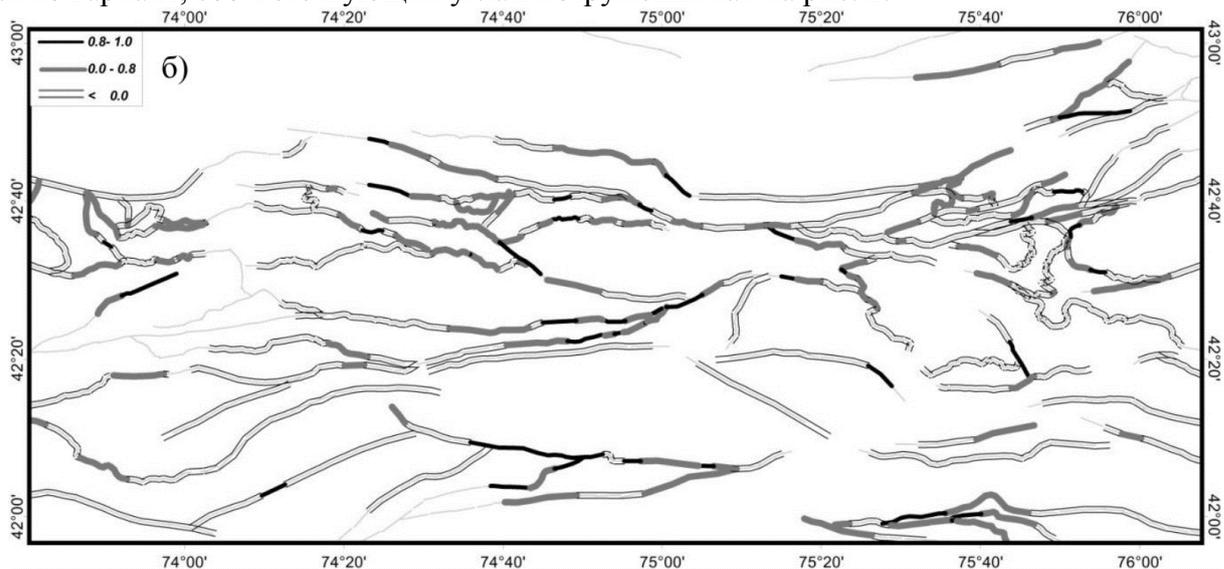


Рисунок 3. Районирование разломов по величине редуцированных кулоновых напряжений: б) для угла погружения, отвечающего рис. 2.

На исследуемой территории построено около 80 векторов скорости в системе отсчета EURA-2008 за 1994-2013гг измерений GPS пунктов с оценкой ошибок <1 мм/год в горизонтальном плане. Сопоставление векторов скорости с напряженным состоянием разломов отражено на рис. 4.

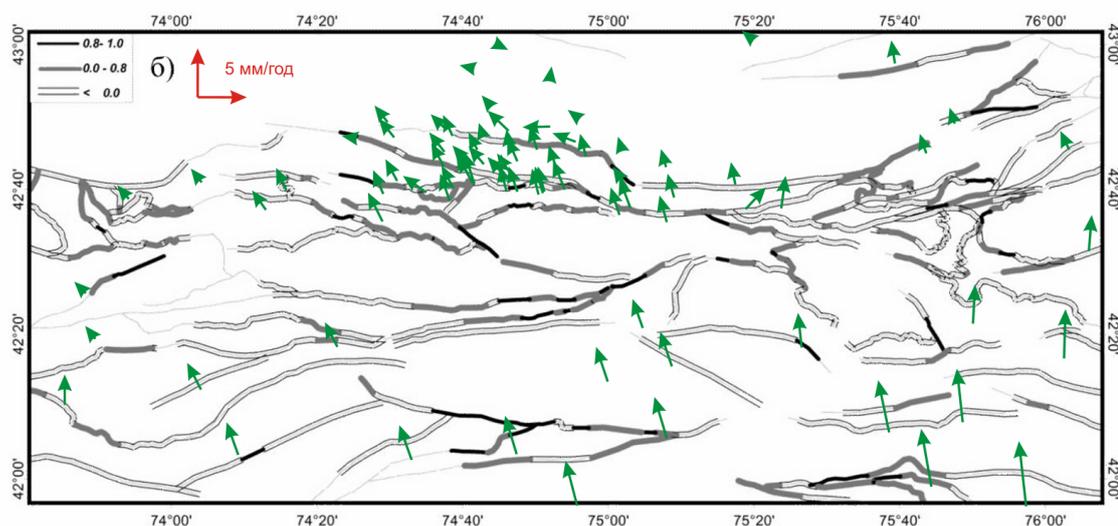


Рисунок 4. Векторы скорости в системе отсчета EURA-2008 и оценками ошибок <1 мм/год за 1994-2013гг наблюдений в сравнении с напряженным состоянием разломов, в соответствии с рис. 3.