

## **Форма 503. РАЗВЕРНУТЫЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ**

3.1. *Номер проекта*  
12-05-00234

3.2. *Название проекта*  
Исследование неоднородности поля напряжений в коре Тянь-Шаня и его эволюции по сейсмологическим данным

3.3. *Коды классификатора, соответствующие содержанию фактически проделанной работы:*  
05-111 05-412 05-411

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

1. Приложение алгоритма расчета тензора сейсмического момента к техническим условиям сети KNET и дополнение банка данных тензоров сейсмического момента событий за 2011-2013 гг.
2. Релокация очагов землетрясений с использованием метода двойных разностей с привлечением новых данных за 2009-2013 гг.
3. Расчет фокальных механизмов очагов за 2013г.
4. Расчет добротности земной коры Северного Тянь-Шаня по данным сети KNET.
5. Анализ погрешности оценок радиуса очага и снятия напряжений по данным о спектрах сейсмограмм, приведенных к очагу. Проверка базового положения в подходе Бруна о независимости частот среза от направления на приемную станцию.
6. Построение зависимостей величины снятия напряжения от сейсмического момента (графики в координатах "сигма" – M<sub>0</sub>) для групп землетрясений с одинаковым типом фокальных механизмов: взброс, сброс и сдвиг. Уточнение модели очага с учетом отличия площади разрыва от круга и несферичности зоны охвата на примере землетрясений со сдвиговым фокальным механизмом.
7. Развитие алгоритмов расчета динамических параметров очага землетрясения, учитывающих его несферичность, наряду с трансформацией спектра по пути распространения сейсмических волн (на основе теоретической модели Опака-Шемьякина- Щеглова, описывающей спектр излучения протяженного сдвигового очага).
8. Расчет на основе МКА (3-4 этапы) величин тектонических напряжений и оценка эффективной прочности сцепления массивов горных пород при использовании данных о сброшенных напряжениях в очагах землетрясений с M>3.5.
9. Полевые тектонофизические исследования палео-напряжений по данным геологических индикаторов (заключительный этап).

3.5. *Степень выполнения поставленных в проекте задач*

Все заявленные задачи по проекту выполнены полностью. Проведены исследования различных проявлений неоднородного распределения поля напряжений в коре Тянь-Шаня и его эволюции. В процессе выполнения проекта выполнялись сейсмологические исследования, ориентированные на получение дополнительных данных о параметрах землетрясений, фокальных механизмах, тензорах сейсмического момента, уточнялись данные каталога землетрясений, а также определялись динамические параметры землетрясений, оценивались напряжения на активных разломах Северного Тянь-Шаня.

3.6. *Полученные за отчетный период важнейшие результаты*

Подавляющий объем информации по механизмам очагов землетрясений, в современной сейсмологии, получен на основе данных по полярности вступления сейсмических волн. Одним из условий надежного определения механизма очага по этому методу является полное окружение эпицентра землетрясения пунктами наблюдений. Поэтому в качестве исследуемой территории была выбрана область площадью 100x300 км, ограниченная координатами расположения краевых станций сети KNET. Обработка сейсмических данных началась в 1994 году, каталог фокальных механизмов, полученный по методике, использующей знаки первых вступлений продольных волн, формировался в 2000-2004гг. и содержал решения механизмов землетрясений за 1999-2004гг. Первый анализ фокальных механизмов очагов опубликован в работах [Сычева Н.А. и др., 2005, Сычева Н.А. и др., 2005]. Результат дальнейшего анализа, проведенный на основе накопленных данных за 2005-2008 гг., представлен в работе [Сычева Н.А., Юнга С.Л., 2011]. За время выполнения проекта проведена верификация ранее полученных решений механизмов (1999-2008гг.) и проведена обработка данных за 2009 - 2013 гг.: 2009 -62 события, 2010-57 событий, 2011 -30 событий, 2012 -78 событий и 2013 - 106 событий. Обработка этих данных позволила увеличить сводный каталог фокальных механизмов очагов до 1162 решений. На основе дополненного каталога фокальных механизмов землетрясений (1998-2012гг.) проведена повторная реконструкция напряжений для земной коры Северного Тянь-Шаня. Фокальные механизмы использовались при исследовании зависимости величин динамических параметров от типа подвижки в очаге. На их основе также проведены работы по тектонофизическому районированию разломов.

Наличие широкополосных цифровых записей волновых форм, наряду с вышеописанным подходом определения фокальных механизмов очагов, позволяет использовать современные методы расчета механизма землетрясения, основанные на волновом моделировании. Это предоставляет определенные преимущества, главными из которых являются: высокая точность определения параметров землетрясения и возможность оценки событий находящих за пределами сейсмической сети. Метод волновой инверсии был применен ранее для определения тензоров сейсмического момента событий, которые произошли на территории расположения станций сети KNET за 1996-2006

гг. [Костюк и др., 2008]. Исходные данные представляли собой волновые формы сети KNET, загруженные с сайта IRIS. В проекте этот метод был применен к событиям, которые произошли за 2007-2013 гг. Волновые формы этих событий частично были получены с сайта IRIS (2007-2010 гг.), а частично использовались цифровые записи станций сети KNET Научной станции РАН (2011-2013 гг.), для формирования которых использовалась программа, разработанная в рамках этого проекта. Для расчета отбирались землетрясения, лежащие в пределах исследуемого региона и имеющие энергетический класс не ниже 10. Определение фокальных механизмов очагов землетрясений осуществлялось программой, разработанной Ю. Яги [Yagi 2004], которая использует метод инверсии волновой формы. В данной программе функция Грина рассчитывается по методу Кокецу [Koketsu, 1985] модифицированному Кикучи [Kikuchi et al., 1991], при этом процедура инверсии строится согласно [Fukahata et al., 2003]. Технология волновой инверсии применялась для оценки параметров очагов землетрясений, таких как strike, dip, slip, магнитуда и глубина для событий находящихся на расстоянии 1-2 градуса от сейсмологической сети. В результате за время выполнения проекта были получены тензора сейсмических моментов для 59 землетрясений: 2007 г. – 7 событий; 2008- 5 событий; 2009-8 событий; 2010-4 события; 2011-14 событий; 2012-10 событий и 2013 - 11 событий. По итогам проекта составлен сводный каталог, который включает в себя 128 решений для событий, которые произошли в 1996-2013 гг. на территории расположения станций сети KNET и в ближайшем окружении. Детальный анализ распределения сейсмичности и ее связи с другими геофизическими полями или геологическими объектами повышает требования к точности определения положения очагов землетрясений. Как известно, значительная доля ошибки при вычислении параметров гипоцентра возникает из-за неадекватности используемой скоростной модели литосферы и, как следствие, неточного расчета расстояний от очага землетрясения до сейсмических станций. Применение "Метода двойных разностей" [Waldhauser, Ellsworth, 2000, 2002], который мало зависит от выбранной скоростной модели и позволяет достаточно эффективно корректировать в каталоге положение гипоцентров землетрясений. Десять сеймостанций сети KNET, расположенных на территории Северного Тянь-Шаня, позволяют регистрировать события далеко за пределами периметра сети. Основное количество сейсмических событий сосредоточено на площади порядка 600×350 км между 40.5° и 44.0° с.ш. и 72° и 78° в.д. За время работы сети ею зарегистрировано более 8000 сейсмических событий. В качестве исходных данных для переопределения положения событий использовался сейсмический каталог землетрясений, полученный на основе шестислойной скоростной модели литосферы С. Реккера [Roescker et al., 1993] и расчетов программы HYPOCENTER [Barry et al., 1986]. Для применения метода двойных разностей за время выполнения проекта были сформированы сейсмологические бюллетени для событий, произошедших за 2009-2013 гг.: 2009 – для 281 события, 2010 - для 296 событий, 2011 для 203 событий, 2012 – для 508 событий и 2013 - для 380 событий. Одно из основных понятий алгоритма двойных разностей – "кластер", который должен включать в себя не менее 8 сейсмических событий, отстоящих друг от друга не более чем на 8 км. При выполнении программы позиции событий, не вошедших ни в один из пространственно связанных кластеров, корректировке не подлежат. При обработке данных сети KNET были сформированы 178 кластеров, в которые вошли в общей сложности 5070 событий, что составляет ~78 % от общего числа исследуемых землетрясений (6500). В результате применения метода двойных разностей (программа hypoDD) было уточнено положение гипоцентров исследуемых. Среднее изменение положения гипоцентров по долготе и широте составило 1.1 км, по глубине – 5.1 км. Ошибки определения параметров землетрясений RMS, ERH, ERZ в среднем уменьшились в 1.5–2 раза. При этом если до корректировки гипоцентры преобладающего числа событий располагались в глубине до 5 км, после выполнения процедур метода двойных разностей они сместились на глубину 10 км. Наличие такого каталога позволяет его использование для определения связи сейсмичности с разломными зонами и другими геофизическими полями.

При расчете динамических параметров очагов используются такие параметры очагового спектра как уровень спектральной плотности и угловая частота. Для получения очагового спектра на базе станционного учитывается влияние пути прохождения сейсмического луча до станции и влияние места, непосредственно под самой станцией. При вычислении затухающей функции используются данные по добротности среды, которая рассматривается как степенная зависимость от частоты. Значение добротности используемой при расчете функции затухания влияет на уровень спектральной плотности очагового спектра, используемой при расчете скалярного сейсмического момента. По Тянь-Шанскому региону добротность среды была определена в работе Земцовой [Земцова, 1986]. На тот момент на территории Северного Тянь-Шаня (расположение станций сети KNET) располагалось всего пару сейсмических станций, что явилось основанием для уточнения добротности по данным уже сети KNET (10 станций). Для исследования поглощающих свойств земной коры были использованы записи локальных землетрясений, зарегистрированных сейсмической сетью KNET в период с 1999 г. по 2012 г. Длина каждой записи составляет 310 сек, начало записи соответствует времени за 10 секунд до времени в очаге. Для исследования использовались записи по трем компонентам (E, N, Z) по всем станциям сети. Каждая запись обрабатывалась по алгоритму, описанному в работе [Fehler, Sato, 2009]. Для исследования выбирались события, которые произошли в окрестности 20-100 км вокруг каждой станции. Исследования проводились для кода-волн, выделенных на частотах: 0.75, 1.5, 3.0, 6.0, 12.0 и 24.0 Гц, и рассматриваемых в окне с различной длительностью ( $t_c$ ): 20, 30, 40 и 50 секунд. Для различных  $t_c$ , по каждой выделенной частоте, были получены функции добротности от частоты. Каждая из полученных зависимостей добротности от частоты была описана степенной функцией вида:  $Q_c(f) = Q_0 * f^n$ , где  $Q_0$  – добротность на некоторой референтной частоте (как правило, 1 Гц) и  $n$  – частотный параметр, который близок к 1 и меняется от региона к региону [Aki K., 1980]. Показатель частотной зависимости добротности  $n$  (частотный параметр) в уравнении характеризует среду и увеличивается с интенсивностью тектонической активности региона [Aki K., 1980]. Увеличение длины окна кода волн позволяет оценить добротность более глубоких слоев земной коры. Полученные результаты, показывают, что растет с увеличением длины окна, а значение степени падает и меняется в пределах, характерных для тектонически активных регионов (0.7-1). Полученные функции добротности были использованы для расчета затухающей функции. Сравнение полученных значений с результатами,

определенными по Земцовой позволили отметить, что при использовании добротности по данным сети KNET приводит значения сейсмического момента в соответствие с данными, полученными по данным СМТ (Гарвардский каталог тензоров сейсмического момента).

В большинстве моделей очага землетрясения, ЗЛТ, попытки более точного расчета снятия напряжений фактически сводятся к поправкам формулы Брюна для радиуса очага, определяемого по частоте среза и скорости поперечных волн. Такие модели направлены, в основном, на более точный учет региональных особенностей сейсмической сети и скоростного строения коры, что дублирует в той или иной степени учет станционных поправок и поправок за частотную зависимость добротности среды [Сычева, Богомолов, 2014]. Но при этом не учитывается принципиальный фактор – скорость распространения разрыва. Поэтому используемые для расчета динамических параметров модели, сходные с моделью Брюна (смещение полусфер друг относительно друга) является скорее кинематическими, чем физическими: это дислокационная модель [Москвица, 1969] и модель вытянутого по форме очага, порождаемого сдвиговым разрывом [Щеглов, 1978]. Для модели Москвиной предложены аналитические выражения, по которым могут быть проведены уточняющие расчеты радиуса очага, принимающие во внимание, что подвижка происходит со скоростью, меньшей скорости поперечных волн. Скорость подвижки оценивается из самой модели. В этом состоит принципиальное преимущество модели Москвиной перед моделями, которые уточняют описание формы очага с помощью параметров, дополняющих радиус Брюна, но не принимающих в расчет ограниченную скорость разрыва. В модели Щеглова очаг землетрясения описывается как эллипсоид вращения. Таким образом, вместо единственного геометрического параметра – радиуса Брюна в этой модели фигурируют два размера, что позволяет описать форму очага более детально. Модель Щеглова приводит к громоздкой системе уравнений, которая может быть решена численно. Качественный анализ поведения решений указал на главное достоинство этой модели – убедительно объяснение случаев, когда расчет сейсмического момента по разным компонентам сейсмограмм дает результаты, различающиеся в несколько раз. Когда очаг описывается двумя геометрическими параметрами, то вычисленный по спектрам параметр с размерностью длины, может быть поставлен в соответствие либо одному из радиусов эллипсоида вращения, либо их среднему (в зависимости от взаимной ориентации осей сжатия – растяжения в очаге и луча, направленного на приемную станцию). При этом разброс формальный разброс значений радиуса очага и сейсмического момента интерпретируется уже не как погрешность расчета, а как закономерность, связанная с вышеуказанным различием. Следствием модели Щеглова является обоснование того, что наиболее корректной оценкой сейсмического момента является максимальное значение по одной из компонент, а не среднее арифметическое. Модель также позволяет сделать обоснованный выбор станций для расчета сейсмического момента конкретного землетрясения (с учетом эпикентрального расхождения и углов выхода осей сжатия – растяжения). Для проверки концепции о наибольшей эффективности снятия напряжений при землетрясениях умеренной силы, а не наиболее сильных, проведен анализ корреляций между скалярным сейсмическим моментом  $M_0$  и снятием напряжений  $\Delta\sigma$  по данным о 85 событиях на территории Северного Тянь - Шаня. Ранее были получены результаты, что площадные распределения  $M_0$  соответствуют распределениям сейсмичности (оцениваемой по количеству событий в представительном диапазоне магнитуд). Основная отличительная черта обоих распределений – наиболее значимые корреляции обнаруживаются с зонами высоких градиентов на картах относительных напряжений  $\sigma_{ef}$  в коре Северного Тянь-Шаня, восстановленных по методике Ребецкого Ю.Л. [Ребецкий, 2000]. Исходная гипотеза состояла в том, что и для распределений  $\Delta\sigma$  должна наблюдаться такая же приуроченность к градиентам  $\sigma_{ef}$ . Имеющиеся данные не позволили подтвердить эту гипотезу из-за значительного разброса  $\Delta\sigma$  даже для событий с близкими значениями сейсмического момента и магнитуды. Важно, что разброс  $\Delta\sigma$  сохранился и после значительного усовершенствования методики расчетов на предыдущих этапах проекта. Вывод относительно того, что снятие напряжений в меньшей степени по сравнению с сейсмическим моментом коррелирует с региональными распределениями (в частности с полем  $\sigma_{ef}$ ) подтвержден на примере другого сейсмоактивного региона – северо-западной части Тихого океана. Для этого региона на основании данных частотно избирательных сейсмических станций (ЧИСС) Бурымской Р.Н. был составлен каталог динамических параметров, включающий 430 событий [Бурымская, 1969-1996]. Для каталога Бурымской (представительный диапазон  $2.5 < M_w < 7.5$ ) зависимость между  $M_0$  и магнитудой с точностью 2-3% описывается формулой регрессии  $M_w = 1.5 \lg M_0 [H \cdot m] + 4.5$  (1). Однако и этот каталог динамических параметров, уникальный по количеству восстановленных динамических параметров событий в компактном регионе, показал, что разброс  $\Delta\sigma$  сохраняется. Хотя регрессия возможна и дает усредненную монотонную зависимость между величинами снятия напряжений и сейсмического момента, но более важным представляется характеристика самого разброса. Для интервала значений снятия напряжений 5-50 бар, имеется набор событий различных  $M_0$  (вплоть до стократного отличия), для которых  $\Delta\sigma$  совпадает с точностью около 10%. Это может свидетельствовать о вероятностном характере распределения  $\Delta\sigma$ . Положение о том, что не всегда более сильному землетрясению (более высокое значение  $M_0$ ) соответствует большее  $\Delta\sigma$  имеет принципиальную значимость для развиваемого Ребецким Ю.Л. “псевдопластического” подхода к описанию сейсмического процесса. Оно также представляет интерес для направления РИНГ – разрядки избыточных напряжений в геосреде, поскольку указывает, что сильные землетрясения “не обязательны”, чтобы произошло снятие напряжений.

Оценка величин напряжений осуществлялась в рамках алгоритма третьего этапа метода катакластического анализа разрывных смещений [Ребецкий, 2009, Тихоокеанская геология] (МКА). Этот алгоритм опирается, прежде всего, на данные первого этапа МКА об ориентации осей главных напряжений, полученные по уточненным результатам реконструкции напряжений в 2013 году (каталог механизмов очагов за период 1996-2012 гг.). Другим базисом расчета величин напряжений являются данные о редуцированных напряжениях (максимальное касательное напряжение, эффективное давление), которые в МКА рассчитываются на втором этапе [Ребецкий, Тектонические напряжения..., Наука, 2007]. Нормировка напряжений осуществляется на неизвестное значение прочности сцепления горных пород (cohesion), которое известно для образцов пород в первые

сантиметры - десятки сантиметров и неизвестно для многокилометровых горных массивов (масштаб усреднения напряжений, определяемых с использованием МКА для коры Северного Тянь-Шаня, - 10-30 км). Для нахождения этой усредненной прочности сцепления массивов необходима дополнительная информация, в качестве которой в рамках алгоритма МКА третьего этапа обычно используются данные о величине сброшенных напряжений в очаге землетрясения, протяженность очага которого в несколько раз - на порядок выше усреднения напряжений [Ребецкий, Маринин, Геология и геофизика, 2006; Ребецкий, Доклады РАН, 2009; Rebetsky et al., BSGF, 2013]. Поскольку для таких землетрясений известна ориентация в пространстве плоскости очага, то после второго этапа МКА можно рассчитать редуцированные напряжения, действующие на этой плоскости. Если в вести определенные предположения о коэффициенте поверхностного трения на разрыве, базирующиеся на результатах лабораторных экспериментах по разрушению образцов горных пород [Byerlee, 1966, 1967, 1975], то после второго этапа МКА можно оценить и величину редуцированного сброшенного напряжения. После его оценки можно переходить от редуцированных напряжений к абсолютным их значениям. Поскольку для исследуемого региона Северного Тянь-Шаня подобных сильных землетрясений нет, то для оценки величин напряжений в рамках третьего этапа МКА был использован каталог землетрясений, для которых в рамках настоящего проекта в предыдущие годы определены величины сброшенных напряжений (85 землетрясений). Эти землетрясения имели энергии от 9 до 14 класса, что говорило о размерах их очагов порядка 0.1 - 1 км, а сброшенные напряжения изменялись от 1 до 94 бар. Для того, чтобы по подобного типа данным оценить величину прочности сцепления были проанализированы все однородные выборки землетрясений, в которых фигурировали землетрясения из каталога с данными о сброшенных напряжениях. Из данного каталога были удалены землетрясения, имевший существенно больший уровень сброшенных напряжений (более 15 бар). Таких землетрясений было 10. Далее были отобраны такие землетрясения этого каталога, для которых редуцированное значение сброшенного напряжения, полученное в разных расчетных точках, изменялось относительно мало (не более 10-20%), а сами точки этих землетрясений на диаграммах Мора были достаточно близки предел прочности (0.8-1). Таких землетрясений около 70% от общего числа (54 события). Именно для этих событий выполнялась оценка прочности сцепления. Рассчитанные значения изменялись в диапазоне от 1.5 до 17 бар при средних значениях 5.6 бар. Используя полученное среднее значение прочности сцепления можно оценить величину максимальных касательных напряжений, действующих в коре Северного Тянь-Шаня. Поскольку редуцированные значения этого напряжения изменялись от 0.8 до 12.5, то это означает, что диапазон изменений абсолютных значений максимального касательного напряжения составляет от 4.5 до 85 бар.

С целью сбора информации о геологических индикаторах палеонапряжений в пределах Киргизского хребта в 2014 году были проведены полевые работы. В десяти маршрутах были изучено 5 основных участков, по которым собрана структурно-кинематическая информация о перемещениях на поверхности тектонических трещин и малых разрывов. На самом западном участке (в долине р. Кара-Балта) с помощью полевых тектонофизических исследований удалось собрать информацию для реконструкции палеонапряжений для южного и северного склонов Киргизского хребта, а также его осевой части. В районе ИС РАН были собраны подробные данные в районе детальной геодезической площадки Алмалы (ALMALY), а также вблизи самой научной станции. На участке в долине р. Кегеты замеры были охарактеризована приосевая часть Киргизского хребта. На бортах Кочкорской и Иссык-Кульской межгорных впадин были проведены рекогносцировочные работы, в ходе которых были собраны данные для реконструкции локальных палеостресс-состояний по ряду точек наблюдения. Собранные в процессе полевых работ замеры тектонических трещин и малых разрывных нарушений внесены в базу данных (на основе таблиц Excel). Всего в 60 точках наблюдения было собрано более 1100 замеров тектонической трещиноватости, из них со структурно-кинематической информацией (определением направления перемещения на поверхности трещины) - 525 замеров, а по открытым структурам было собрано 154 замера. Полученные данные конвертированы в формат необходимый для дальнейшего расчета с использованием программы STRESSgeol по алгоритму Метода Катакластического Анализа (МКА). Произведена реконструкция локальных стресс-состояний и соответствующих им геодинамических режимов на основе собранных полевых тектонофизических данных с использованием программы STRESSgeol по алгоритму МКА. В 29 точках наблюдения удалось реконструировать основные параметры 37 локальных стресс-состояний (ориентация осей главных напряжений, коэффициент Лодэ-Надаи и др.). По результатам реконструкции локальных стресс-состояний составлены сводная таблица, розы-диаграммы азимутов и углов погружений главных осей напряжений, а также построены круговые диаграммы (в стереографической проекции) выходов осей главных напряжений. Наиболее выраженными по данным результатам являются следующие азимуты погружения для максимальных сжимающих напряжений ( $\sigma_3$ ): ССЗ 345° и СЗ 300°. Угол наклона (погружения) осей максимального сжатия близок к горизонтальному (до 25°). Большая часть реконструированных локальных стресс-состояний характеризуется обстановкой горизонтального сдвига (14 определений). По 7 определений связано с обстановкой горизонтального сжатия и горизонтального растяжения. Субвертикальные ориентировки осей сжатия и геодинамический режим горизонтального растяжения характерны для области вблизи площадки «Алмалы» (4 определения), а также бортов Кочкорской и Иссык-Кульской впадин (3 определения). Оси минимальных сжимающих напряжений (девиаторного растяжения) имеют по данным проведенной реконструкции преимущественно субширотную (ВЮВ-ЗСЗ) ориентировку. Сделанные два пересечения осевой зоны Киргизского хребта по долинам рек Кара-Балта и Кегеты показали несколько различные результаты. По результатам реконструкции для первого пересечения установлено преобладание обстановок горизонтального сжатия, а для второго пересечения характерно преобладание обстановок горизонтального сдвига. Обращает также на себя внимание, что при пересечении по долине р. Кара-Балта в двух объемах восстановлено по два определения осей главных нормальных напряжений (т.н. 14243 и т.н. 14247). При этом по всем определениям локальных стресс-состояний однозначно определено общее поле напряжений для этого наиболее западного пересечения, характеризующегося субгоризонтальной меридиональной осью сжатия БЗоб (356 угол 20 ) напряжений должны быть

взбросо-сдвиги со следующими параметрами:  $t_{max1}$  аз. пд. ЗСЗ 334 угол 77, левый взбросо-сдвиг практически с равными вертикальной и горизонтальной перемещений и  $t_{max1}$  с аз. пд. ВСВ 213 угол 38, правый взбросо-сдвиг с незначительным преобладанием сдвиговой компоненты перемещений. Надо отметить, что локальное стресс-состояние в т.н. 14247 характеризуется горизонтальной широтной ориентировкой оси сжатия, не свойственной найденному общему полю, по этому признаку можно предположить, что оно характеризует более древнее напряженное состояние и, возможно, связано с каким-нибудь древним сейсмическим событием, вызвавшим резкое возмущение локального стресс-состояния в данной точке.

### 3.7. *Степень новизны полученных результатов*

Впервые проведены расчеты динамических параметров очагов землетрясений: радиуса очага, сейсмического момента  $M_0$ , снятия напряжений,  $\Delta\sigma$ , которые произошли на территории расположения станций сети KNET за 1998-2012 гг. Значения динамических параметров получены для 85 событий энергетических классов  $K=9.5-13.7$ , что составляет 86% от общего числа событий (99) в этом диапазоне классов  $K$  за исследуемый период. Для 80 рассматриваемых событий определены механизмы очагов на базе двух подходов: по знаку прихода  $P$ -волны (66 событий), метод инверсии (14 событий). Проведено сравнение полученных значений динамических параметров с результатами других исследователей. Выделены зоны со значительным падением напряжений в очагах. Рассмотрены механизмы очагов для событий с падением напряжений больше 10 бар (19 событий), установлено, что половина имеют взбросовый характер и вносят значительный вклад в падение напряжений (68%). Региональные оценки эффективной добротности среды Тянь-Шанского региона на основе исследования кода волн по записям широкополосной аппаратуры СКМ, СКД и частотно-избирательной станции были сделаны в работе [Земцова, 1986], согласно которой было обработано около 400 записей от 160 землетрясений. При этом на территории Северного Тянь-Шаня располагалось несколько станций. Сейсмологическая сеть KNET, которая была установлена в 1991 году, позволила накопить большой массив данных, на основе которых можно решать различные научные задачи, в том числе и задачу уточнения поглощающих свойств среды. В результате выполнения проекта получены функции добротности от частоты для территории расположения станций сети KNET. В условиях региональных исследований для Северного Тянь-Шаня осуществлен расчет параметров тензора сейсмического момента по цифровым записям сети KNET для 58 событий, которые произошли за 2007-2013 гг. Результирующий каталог включает в себя 128 событий, которые произошли в окрестности сети KNET за 1996-2013 гг. с  $M > 3$ . Проведенные работы по отработке методики инверсии существенно расширяют технологические возможности обработки сейсмологических данных ИС РАН в г. Бишкеке. Впервые для Северного Тянь-Шаня выполнено уточнение гипоцентров землетрясений с использованием метода двойных разностей, который также будет в дальнейшем использоваться при обработке сейсмических данных сети KNET. По результатам уточнения положения гипоцентров каталога землетрясений для 78% от их общего числа максимум сейсмических событий оказался смещенным с глубины 5 км на глубину 10 км. Это новый результат, который требует дальнейшего анализа и сопоставления с имеющимися геофизическими данными. Впервые из данных о механизмах очагов в виде двойного диполя были выделены плоскости, реализованные при землетрясении. В комплексе с геологическими данным о приповерхностной разломной тектонике эти данные позволили уточнить глубинное строение коры. Впервые для всего Северного Тянь-Шаня выполнено тектонофизическое районирование активных разломов. Получены данные о соотношении нормальных и касательных напряжений на отдельных участках разломов как вблизи поверхности, так и в глубине коры. Это дало возможность оценить интенсивность накопленной энергии упругих деформаций горных массивов и способность разломов к диссипации этой энергии. Было выполнено районирование разломов разной степени их потенциальной опасности.

### 3.8. *Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем*

Предложенные методы тектонофизического количественного районирования разломов в областях, где имеются данные о напряженном состоянии существенно развивают эту область науки и технологии. До сих пор изучение сейсмического режима и районирование разломов по степени их сейсмической опасности ведется в основном сейсмологическими (общее сейсмическое районирование (ОСР) - Уломов В.И. и др.) и геологическими (сейсмогеология – Рогожин Е.А., Трифонов В.Г. и др.) методами. Эти методы предусматривают использование данных каталогов современных и «исторических» землетрясений (время, место и сила землетрясения), результатов анализа сотрясаемости территорий после сильнейших землетрясений, а также данных полевой сейсмогеологии о силе и месте палеоземлетрясений. Сами исходные данные (землетрясения, произошедшие недавно или в далеком прошлом), используемые в рамках ОСР, предполагают, что прогнозируемые сейсмические события происходят в областях, где землетрясения подобной силы уже имели место [Шебалин, 1997; Уломов, 1997]. Прогноз сейсмического поведения геосреды (оценка величины максимально возможных магнитуд землетрясений или карты баллов, характеризующих интенсивность сотрясаемости территорий) фактически делается из предположения о стационарности состояния в прошлом, настоящем и в ближайшем (50-100 лет) будущем. Однако хорошо известно, что для большого числа сильных землетрясений, произошедших за последние 50 лет, их магнитуда не соответствовали ожидаемой, даваемой картами ОСР. Данные о величинах напряжений позволяют выполнять анализ давно существующих и только формирующихся (по геологическим меркам) разломных систем на предмет их потенциальной сейсмической опасности. При этом эти результаты направлены в будущее, т.е. определяют потенциально опасные разрывные структуры, отвечающие сегодняшнему напряженному состоянию. По своему уровню научной новизны все перечисленные результаты соответствуют мировому уровню. Комплексирование тектонофизического (геологического) и сейсмологического подхода (расчеты динамических параметров очагов землетрясений), а также применение оригинальных методов реконструкции напряжений определило опережение мирового уровня по некоторым аспектам.

### 3.9. *Методы и подходы, использованные в ходе выполнения проекта*

В ходе выполнения проекта использовался набор сейсмологических и тектонофизических методов

изучения современного напряженного состояния. Ранее было отмечено, что участниками проекта создан программный комплекс для расчета динамических параметров очагов землетрясений, в котором реализованы оригинальные авторские методики (отчет 2012), например, автоматическое определение времени прихода P и S волн, автоматическое определение частоты среза и расчет радиуса очага (радиуса Бруна, Brune), возможность работать в интерактивном и пакетном режимах и др. Эта программа была использована для расчета динамических параметров 14 землетрясений с  $K > 11.5$  в 2012 году и 71 землетрясение с  $K > 9.5$  в 2013 году, которые произошли на территории Северного Тянь-Шаня с 1998 по 2012 гг. Полученные оценки сброшенных напряжений важны для развития методов расчета уровня природных напряжений в рамках тектонофизических методов, развиваемых в ИФЗ РАН. Результаты, полученные в 2012-2013 гг., позволили обосновать новый подход к интерпретации материалов о динамических параметрах очагов землетрясений в исследуемом регионе. В рамках этого подхода принято во внимание, что отличие значений радиуса Бруна и снятия напряжений для событий близких магнитуд, но разных типов фокальных механизмов закономерно. Это отличие для событий, локализованных в одной и той же области, не связано с фактической погрешностью расчета динамических параметров (как могло бы показаться на первый взгляд). Для взбросов характерны несколько большие значения радиуса Бруна и снятия напряжений, чем для очагов сдвигового типа. Предложен новый подход к расчетам радиуса очага и снятия напряжений, основанный на идее из малоизвестной работы Сноука [Spoke, 1987]. В этом подходе промежуточный параметр – частота среза  $f_c$  определяется не по “излому” графика спектральной плотности, а по сопоставлению интеграла квазиэнергии (квадрата спектральной плотности скорости) с моделью спектра очага по Бруну. При этом вместо классического выражения для радиуса очага (радиуса Бруна)  $r_B = 2.34 V_S / 2\pi f_c$  (1) в расчетах можно использовать выражение  $r_B = 2.34 V_S (\Omega_0/4J)^{1/3}$ , (2), где  $V_S$  – скорость поперечных волн,  $\Omega_0$  – спектральный параметр, используемый в расчетах скалярного сейсмического момента и имеющий смысл низкочастотного предела спектральной плотности смещения, а интеграл квазиэнергии  $J$  рассчитывается по спектру скорости, приведенному к очагу:  $J = \int [A(f)]^2 df$  (3). Формула (2) требует расчет двух параметров:  $J$  и  $\Omega_0$  для определения радиуса очага, в отличие от классического выражения (1) с единственным параметром спектра – частотой среза. Тем не менее, использование (2) для расчета  $r_B$ ,  $\Delta b$  может иметь преимущества в случае плавного хода графика спектральной плотности, т.е. когда “излом” выражен слабо. В результате выполнения проекта разработан программный комплекс, который позволяет подготовить и верифицировать сейсмические записи землетрясений из непрерывного набора данных, выделять определенные частоты из записи, рассчитать добротность среды по модели однократного рассеяния на основе кода волн в окне с различной длительностью. Этот комплекс был использован для расчета функции добротности зависящей от частоты по данным сети KNET за 1999-2012 гг. Получены предварительные результаты оценки добротности среды для территории Северного Тянь-Шаня, которые можно использовать при построении очагового спектра, на основании которого определяются динамические параметры землетрясения. Также новым направлением в сейсмологических исследованиях является применение инверсионного метода (ИМ) для определения тензора сейсмического момента (СМТ). Расположение станций сети KNET позволяет получать решения фокальных механизмов очагов (на основе знака прихода P-волн) только для небольшой территории, ограниченной координатами крайних станций сети. Применение ИМ для определения СМТ позволило расширить исследуемую территорию, поскольку с помощью этого метода можно получать решения и для событий за пределами сети. В основе ИМ лежит генерирование синтетической сейсмограммы. При этом подбирается такое решение, при котором разница между наблюдаемой сейсмограммой и синтетической минимальна. В используемом программном обеспечении используются только отраженные фазы pP и pS волн. Модель расчета представлена в работе [Yagi Y., 2004]. Важно отметить, что использование ИМ позволяет принципиально изменить технологию определения параметров фокальных механизмов. В настоящее время определение фокальных механизмов на ИС РАН осуществляется по знакам первых вступлений, что приводит к не единственности этих определений из-за малого числа данных о знаках. Кроме того такая технология не позволяет гарантировать, что площадка разрыва, генерирующая сейсмические волны в первых вступлениях, совпадет с основным положением очага землетрясения. В рамках ИМ метода эти проблемы решаются. Как известно, скоростная модель литосферы позволяет оценить время прохождения сейсмическим лучом расстояния от источника до регистрирующей станции. В реальности же структура Земли намного сложнее, чем любая из описываемых ее скоростных моделей. Поэтому в расчетном времени пробега волны от события к сейсмической станции появляются ошибки, связанные с отклонением скоростной модели от реального строения среды и ее свойств. Для сглаживания подобного рода несоответствий и корректировки гипоцентров используется метод двойных разностей (МДР), идея и технология которого подробно изложена в работах [Waldhauser, Ellsworth, 2000, 2002]. В результате применения метода двойных разностей (программа hypoDD) к сейсмическим событиям из каталога, составленного по данным сети KNET за 1994–20013 гг., было уточнено положение гипоцентров сейсмических событий. В проекте используется метод катакластического анализа разрывных смещений (МКА), разработанный в ИФЗ РАН, позволяющий получать данные не только о полном тензоре напряжений, но и тензоре приращений сеймотектонических деформаций [Ребецкий, Доклады РАН, 1997, Т.354, №1.; Ребецкий, Доклады РАН, 2003, Т.3, №2]. МКА дает возможность после реконструкции напряжений определять также нормальные и касательные напряжения на любых площадках, т.е. на плоскостях разломов, выделяемых геологическими и геофизическими методами. Базисом МКА являются критерии выделения доменов квазиоднородного напряженно-деформированного состояния, опирающиеся на энергетические положения теории пластичности (уменьшение энергии внутренних упругих деформаций для разрывных смещений) [Ребецкий, 1997]. На основе этих же критериев формируется однородная выборка механизмов очагов землетрясений.

3.10.1.1. *Количество научных работ, опубликованных в ходе выполнения Проекта (за весь период выполнения Проекта, цифрами) 58*

3.10.1.2. *Из них включенных в перечень ВАК 23*

- 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*) 5
- 3.10.2. Количество научных работ, подготовленных в ходе выполнения проекта и принятых к печати в 2014 г. 5
- 3.11. Участие в научных мероприятиях по тематике проекта, которые проводились при финансовой поддержке Фонда Полевая экспедиция "Полевые тектонофизические исследования Северного Тянь-Шаня для реконструкции локальных палеостресс-состояний"
- 3.12. Участие в экспедициях по тематике проекта, проводимых при финансовой поддержке Фонда № 14-05-10058к/2
- 3.13.1. Финансовые средства, полученные от РФФИ в 2014 году: 400000 руб.
- 3.13.2. Финансовые средства, полученные от РФФИ в 2013 году: 390000 руб.
- 3.13.3. Финансовые средства, полученные от РФФИ в 2012 году: 435000 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. Yu. L. Rebetscy, O.A.Kuchai, N.A.Sycheva, R.A.Tatevossian. Development of inversion methods on fault slip data Stress state in orogenes of Central Asia // *Tectonophysics*. 2012 V.581. P.114-131.
  2. Н.А. Сычева, Л.М. Богомолов, В.Н. Сычев. Геоинформационные аспекты анализа потоков сейсмических и акустоэмиссионных событий как реализаций случайных процессов // *Геоинформатика*, №2, 2012, с.29-39.
  3. Н.А. Сычева, С.И. Кузиков. Анализ скоростных моделей литосферы Тянь-Шаня и метод двойных разностей при определении положения гипоцентров землетрясений по данным сейсмологической сети KNET // *Геофизические исследования*, 2012, том 13, №2, с.5-22.
  4. В.Н. Сычев Л.М. Богомолов Н.А. Сычева. О суточной квазипериодичности и случайной составляющей в потоке сейсмических событий. // *Тихоокеанская геология*. 2012.Т.31 №6. С.68-78
  5. Сычев В.Н., Богомолов Л.М., Сычева Н.А. К вопросу о статистической достоверности сейсмического отклика при экспериментальных зондированиях коры Бишкекского геодинамического полигона // *Пятый Международный симпозиум, 19-24 июня, 2011 года. «Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов»*. Материалы докладов. Т1. 2012. С.273-280.
  6. Сычева Н.А, Ребецкий Ю.Л., Сычев В.Н. Анализ напряженно-деформированного состояния Центрального Тянь-Шаня по сейсмологическим данным// *Пятый Международный симпозиум, 19-24 июня, 2011 года. «Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов»*. Материалы докладов. Т2. 2012. С. 113-119.
  7. Сычева Н.А., Мансуров А.Н., Сычев В.Н. Предварительные оценки станционных поправок сейсмических станций сети KNET (Северный Тянь-Шань) на основе горизонтально-вертикальных спектральных отношений землетрясений // *«Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле»*. Третья тектонофизическая конференция. Материалы докладов конференции 8-12 октября 2012 г. Т2. С.191-194.
  8. 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. Т2. С.185-190.
  9. 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. Т1. С.236-240.
  10. Сычев В.Н., Богомолов Л.М., Сычева Н.А. Взаимосвязь неоднородности поля напряжений и периодической составляющей в потоке сейсмических событий // *«Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле»*. Третья тектонофизическая конференция. Материалы докладов конференции 8-12 октября 2012 г. Т2. С.181-184.
  11. Мансуров А.Н.. Математическая модель и методика расчета поля скорости деформации земной коры по данным GPS наблюдений // *Проблемы автоматизации и управления*. Илим №2. 2012. С.57-63.
  12. Мансуров А.Н.. Структурное проектирование автоматизированной системы расчета поля скорости деформации земной коры по данным GPS наблюдений // *Проблемы автоматизации и управления*. Илим №2. 2012. С.120-127.
  13. 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. Vol. 344. N3-4. P.181-190.
  14. Sim L.A. Some methodological aspects of tectonic stress reconstruction based on geological indicators // *Comptes Rendus. Geoscience*. 2012. Vol. 344, No 3-4. P.174-180.

15. Rebetsky Yu.L. Achievements of tectonophysics researches in Russia: perspective tectonophysics problems // *Comptes Rendus. Geoscience*. 2012. Vol. 344, No 3-4. P.116-124.
16. Омар Х., Арефьев С.А. Ребецкий Ю.Л. Механизмы афтершоков 2004-2005гг. И напряженное состояние очаговой области Алтайского землетрясения 2003 г. // *Геофизические исследования*. 2012. Т.13. С.56-73
17. Yu. L. Rebetsky and R.E. Tatevossian Rupture propagation in strong earthquake sources and tectonic stress field // *Bulletin de la Societe Geologique de France*, July/September 2013, v. 184, p. 335-346, doi:10.2113/gssgfbull.184.4-5.335ptes Rendus Geoscience. 2012. Vol. 344. N3-4. P.181-190.
18. Макагон М.Ю., Сычева Н.А. Программный комплекс расчета станционных поправок (сайт-эффект) станций на основе сейсмического шума // *Вестник КРСУ (Кыргызско-Российский Славянский университет)*. 2013. Том 13. №7. С.90-96.
19. Богомолов Л.М., Сычев В.Н., Сычева Н.А. Сейсмологические приложения нестандартного статистического анализа // *Вестник Дальневосточного отделения РАН* // 2013. №3. С.19-25.
20. 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.
21. Сычева Н.А., Богомолов 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.
22. Богомолов 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. С.53-54.
23. Богомолов Л.М., Сычев В.Н. Потенциал методов нелинейной динамики для анализа геофизических рядов и сейсмичности // *Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений. Сб. тез. докл. IV международной конференции*. Отв. ред. Б.М. Шевцов. 2013. С.79.
24. Богомолов Л.М. Поиск новых подходов к объяснению механизмов взаимосвязи сейсмичности и электромагнитных эффектов // *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2013. №3. С.12-18.
25. Сим Л.А. Краткий обзор состояния изученности палеотектонических напряжений по геологическим индикаторам // *Геодинамика и тектонофизика*, 2013, 4(3). С. 341-361.
26. Сим Л.А., Жиров Д.В., Корчак П.А., Жукова С.А. Связь тектонических напряжений и техногенных землетрясений на примере месторождения Плато Расвумчорр (Хибинский интрузив) // *Триггерные эффекты в геосистемах. 2-й Всероссийский семинар-совещание, М., 18-21 июня 2013. М., 2013, ИДГ РАН, с.88-90.*
27. 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.
28. 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 Фермановской научной сессии, посвященной 150-летию со дня рождения акад. В.И. Вернадского, 7-10 апреля 2013 г. Апатиты: Изд-во K&M, 2013. С.96-99.*
29. Сим Л.А., Брянцева Г.В. Рельеф как показатель неотектонического напряженного состояния земной коры // *М-лы XXXIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН «Геоморфология и картография», Саратов, 17-20 сентября 2013. Саратов, Изд-во Саратовского университета, 2013. С.446-450.*
30. Маринин А.В. Тектонофизические исследования Семисамской антиклинали (Северо-Западный Кавказ) // *Геодинамика и тектонофизика. Вып. 4. №4. 2013. С.461-484.*
31. Мансуров А.Н. Автоматизация расчета скоростей пунктов GPS наблюдений в программном пакете GAMIT/GLOBK с использованием базы данных GPS наблюдений. // *Материалы 51 й МНСК «Студент и научно-технический прогресс». Секция «Информационные технологии»*. 12 18 апреля 2013 г. С.137.
32. Мансуров А.Н. Объектно-ориентированная модель программы для автоматизации расчета динамических параметров сейсмических событий. // *Материалы V конференции молодых ученых и студентов «современные техника и технологии в научных исследованиях»*. 24 25 апреля 2013 г. С.60-65.
33. Мансуров А.Н. Структурный анализ и автоматизация расчета оценок временных рядов и скоростей марок ЦА GPS-сети с использованием программного пакета GAMIT/GLOBK и базы данных лаборатории GPS ИС РАН // *Материалы V конференции молодых ученых и студентов «современные техника и технологии в научных исследованиях»*. 24 25 апреля 2013 г. С.50



54.

34. Мансуров А.Н. Расчет скоростей современных деформаций земной коры региона сопряжения Памира и Тянь-Шаня по данным GPS наблюдений при помощи автоматизированной системы // «Современная тектонофизика: методы и результаты». Материалы третьей молодежной тектонофизической школы-семинара. 14-18 октября 2013 г. Т. 1. С.205-211.
35. Мансуров А.Н. Анализ локальных особенностей поля скорости деформации земной коры Центрального Тянь-Шаня, рассчитанного по двумерной и трехмерной моделям. // «Современная тектонофизика: методы и результаты». Материалы третьей молодежной тектонофизической школы-семинара. 14-18 октября 2013 г. Т. 1. С.212-218.
36. Mansurov A. Automated computing velocities of geodetic benchmarks and earth crust strain on GPS survey data exemplified by the region of Pamir and Tien Shan conjugation // The Eighth Tianshan Seismic International Symposium on Earthquake Research (Abstracts). China, Urumqi, 23-26 September 2013. P.314-315.
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. Сычев В.Н. Изменения сейсмической активности северного Тянь-Шаня во время экспериментального электромагнитного зондирования земной коры. Восьмой Тянь-Шанский международный симпозиум по исследованию землетрясения. 23-26 сентября 2013. С.145.
39. Ребецкий Ю.Л., Кучай О.А., Маринин А.В. Напряженное состояние и деформации земной коры Алтае-Саян // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 2. С.271-291.
40. Ребецкий Ю.Л. Об одном неучтенном источнике энергии тектонических процессов // Вестник КРАУНЦ 2013. № 1, вып. 21, С.133-137.
41. 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.
42. 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.
43. Сычева Н.А. Богомолов Л.М. Падение напряжения в очагах среднемагнитудных землетрясений в Северном Тянь-Шане // Физика Земли 2014 №3.С.142-153.
44. Сычева Н.А., Богомолов Л.М., Сычев В.Н. Исследование динамических параметров землетрясений Северного Тянь-Шаня. // Тезисы докладов «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов». Шестой международный симпозиум. 23-29 июня. 2014. г. Бишкек. С.429-432.
45. Сычева Н.А., Сычев И.В., Сычев В.Н. Q-фактор земной коры Северного Тянь-Шаня // Тезисы докладов «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов». Шестой международный симпозиум. 23-29 июня. 2014. г. Бишкек. С.433-436.
46. Маринин А.В., Сим Л.А., Сычева Н.А. Результаты полевых тектонофизических исследований Северного склона Киргизского хребта // Тезисы докладов «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов». Шестой международный симпозиум. 23-29 июня. 2014. г. Бишкек. С.128-130.
47. Сычев В.Н., Богомолов Л.М., Сычева Н.А. Новые материалы о вариациях распределений сейсмичности в период зондирований коры Тянь-Шаня однополярными импульсами тока. // Тезисы докладов «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов». Шестой международный симпозиум. 23-29 июня. 2014. г. Бишкек. С.128-130.
48. Сычева Н.А. Богомолов Л.М. Физические аспекты моделей несферических очагов землетрясений и новые подходы к оценкам снятия напряжений // Тезисы докладов «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов». Шестой международный симпозиум. 23-29 июня. 2014. г. Бишкек. С.396.
49. N.A. Sycheva, L.M. Bogomolov. DYNAMIC PARAMETERS OF SEISMIC FOCUSES OF THE NORTHERN TIEN SHAN // Problem of Geokosmos 8th International conference. Book of abstract. St.Petersburg. 2014. P.181-183.
50. Ребецкий Ю.Л. О НЕУСТОЙЧИВОСТИ СЛОИСТЫХ СРЕД В УСЛОВИЯХ ГРАВИТАЦИОННОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ // Геология и геофизика. 2014. №9. С.1446-1454
51. 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.
52. Маринин А.В. К вопросу о выявлении и диагностике дизъюнктивных зон с помощью полевых тектонофизических исследований (на примере складчатого сооружения Северо-Западного Кавказа) // Активные разломы и их значение для оценки сейсмической опасности: материалы XIX научно-практической конференции с международным участием 7-10 октября

- 2014 года. Воронеж: «Научная книга». 2014. С.234-239.
53. I. Kulakov, S. El Khrepy, N. Al-Arifi, I. Sychev, and P. Kuznetsov Evidence of magma activation beneath the Lunayir basaltic field (Saudi Arabia) from attenuation tomography // Soil Earth. 2014. №6. P.1401-1421.
54. Ребецкий Ю.Л., Алексеев Р.С. Тектоническое поле современных напряжений Средней и Юго-Восточной Азии // Геодинамика и тектонофизика. 2014. Т.5, вып. 1. С.257–290. <http://dx.doi.org/10.5800/GT-2014-5-1-0127>.
55. Ребецкий Ю.Л., Полец А.Ю. Напряженное состояние литосферы Японии перед катастрофическим землетрясением Тохоку 11.03.2011 // Геодинамика и тектонофизика 2014. Т. 5, вып. 2. С.469-506. <http://dx.doi.org/10.5800/GT-2014-5-2-0137>.
56. Ребецкий Ю.Л., Михайлова А.В. Глубинная неоднородность напряженного состояния зон горизонтального сдвига // Физика Земли. 2014 № 6. С.108-123.
57. Ребецкий Ю.Л. О неустойчивости слоистых сред в гравитационном поле напряжений // Доклады РАН. 2014 (Rebetskii Yu.L. Instability of Layered Media in a Gravity Stress Field // Doklady Earth Sciences, 2014, Vol. 457, No. 2, P. 217–221.
58. Ребецкий Ю.Л., Овчаренко О.О., Саввичев П. Поле современных напряжений коры юго-западной Европы и Средиземноморья // КРАУНЦ. 2014. Т. 2. С.
59. Сычева Н.А., Сычев В.Н. Программный комплекс CodaQ для расчета добротности земной коры Северного Тянь-Шаня // Вестник КРСУ (Кыргызско-Российский Славянский университет). 2014. (В печати).
60. Сычева Н.А., Сычев В.Н. Фокальные механизмы очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня по данным сети KNET // Вестник КРСУ (Кыргызско-Российский Славянский университет). 2014. (В печати).
61. Сычева Н.А., Сычев В.Н., Сычев И.В., Ильичев П.В. Расчет добротности коры и верхней мантии Северного Тянь-Шаня на основе разработанного программного комплекса CodaQ // Геоинформатика, 2014, (В печати).
62. Ребецкий Ю.Л., Сычева Н.А., Сычев В.Н., Кузиков С.И., Маринин А.В. Напряженное состояние коры Северного Тянь-Шаня // Геология и геофизика. 2014. (В печати).
63. Сычева Н.А., Богомолов Л.М. Закономерности падения напряжений при землетрясениях Северного Тянь-Шаня // Геология и Геофизика. 2014 (в печати).
- 3.16. *Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ, в котором, по мнению исполнителей, могут быть использованы результаты данного проектане очевидно*
- 3.17. *Критическая технология РФ, в которой, по мнению исполнителей, могут быть использованы результаты данного проектане очевидно*
- 3.18. *Основное направление технологической модернизации экономики России, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проектане очевидно*

