

Форма 503. РАЗВЕРНУТЫЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ

3.1. Номер Проекта:

14-05-00545-a

3.2. Название Проекта:

Особенности глубинного строения и геодинамики зон сочленения разновозрастных горных сооружений Центральной Азии (на примере системы Памир-Гиссаро-Алай)

3.3. Коды классификатора, соответствующие содержанию фактически проделанной работы:

05-111 05-431 05-423

3.4. Объявленные ранее цели Проекта на 2014 год:

К концу 2014 года предполагалось выполнить:

1. Построение рабочей геолого-тектонической модели зоны сочленения Памира и Гиссаро-Алая.
2. Построение глубинной геоэлектрической модели литосферы исследуемой зоны по материалам профильных МТ-МВ зондирований.
3. Расчет двумерного поля современных деформаций земной коры исследуемой зоны по данным GPS наблюдений.
4. Анализ пространственного распределения сейсмичности исследуемой Памир-Гиссаро-Алайской зоны.

3.5. Степень достижения поставленных в Проекте целей:

В ходе выполнения проекта (этапа 2014 года) проведен анализ обширного литературного и картографического материала, отражающего существующие представления о геолого-тектоническом строении Памир-Гиссаро-Алайского региона. По результатам этого анализа выработана концептуальная основа для построения геолого-тектонической модели зоны сочленения Памира и Гиссаро-Алая. В окончательном виде геолого-тектоническую модель предполагается получить в 2015 году.

Также сделаны значимые шаги на пути построения комплексной геолого-геофизической модели исследуемого региона:

- построена глубинная геоэлектрическая модель литосферы по результатам профильных МТ-МВ зондирований;
- проведен расчет двумерного поля современных деформаций земной коры по данным GPS наблюдений;
- выполнен анализ пространственного распределения сейсмичности.

Таким образом, основные задачи проекта в 2014 году выполнены полностью.

3.6. Полученные в 2014 году важнейшие результаты:

1. В рамках построения геолого-тектонической модели зоны сочленения Памира и Гиссаро-Алая выработаны концептуальные положения ее построения:

- Памир и Гиссаро-Алай – горные системы, являющиеся составными элементами единого внутриконтинентального Евразийского орогена, который охватывает различные участки земной коры, независимо от их структуры и предыстории развития. В то же время Памир и Гиссаро-Алай – это литосферные блоки, имеющие различные морфоструктуру, тектоническое строение, механизмы и кинематику движения масс, историю развития.
- Ведущим механизмом, формирующим структуру Памиро-Алайского региона является объемное латеральное тектоническое течение горных масс на уровне фундамента и более глубоких горизонтов коры и литосферы в целом. Однако на верхнекоровом уровне тектоническое течение на Памире и в Гиссаро-Алае и его структурное выражение различны.
- Алайско-Таджикская депрессия – платформенно-орогенная альпийская структура, являющаяся в совокупности со структурой Внешней зоны Памира пограничным доменом

между литосферными сегментами Памира и Гиссаро-Алая и характеризующаяся собственным стилем тектонического строения и кинематикой горных масс.

- Алайско-Таджикскую депрессию необходимо рассматривать как зону «демпфера», гасящего тектонические напряжения, вызванные давлением со стороны Памиро-Пенджабского синтаксиса, а Гиссаро-Алай и Памир рассматривать как относительно независимые геодинамические системы.

2. Построение глубинной геоэлектрической модели литосферы исследуемой зоны по материалам профильных МТ-МВ зондирований.

3. Расчет двумерного поля современных деформаций земной коры исследуемой зоны по данным GPS наблюдений.

4. Анализ пространственного распределения сейсмичности исследуемой Памир-Гиссаро-Алайской зоны.

3.7. Степень новизны полученных результатов:

Впервые построена детальная геоэлектрическая модель литосферы исследуемой зоны по материалам профильных МТ-МВ зондирований. Впервые получена количественная оценка характеристик поля современных деформаций земной коры региона исследования по данным космогеодезических наблюдений.

3.8. Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем

Впервые в мире для сложнейшей геодинамической системы Памир-Гиссаро-Алая предпринята попытка привлечения и объединения в общее модельное представление такого обширного материала геолого-геофизических исследований, как с точки зрения объема данных, так и комплекса применяемых методов.

3.9. Методы и подходы, использованные в ходе выполнения Проекта:

3.9.1 Построение рабочей геолого-тектонической модели зоны сочленения Памира и Гиссаро-Алая.

В соответствии с основными задачами Проекта, в 2014 году проведен анализ литературного и картографического материала с целью обновления и расширения фактологической базы и оценки существующих представлений относительно особенностей геолого-тектонического строения Гиссаро-Алайского региона. Проработано более семидесяти публикаций и графических приложений к ним. Подготовлена реферативная сводка, содержащая проанализированные данные в текстовом и графическом выражении, которая может быть представлена в РФФИ и рецензентам по первому требованию.

Полученные фактические данные и результаты их аналитической обработки позволили определить базовые положения и факторы, которые в процессе дальнейшей работы по Проекту будут использованы при разработке геолого-геофизической модели Памиро-Алайского региона. Главные из них – следующие:

- ГИССАРО-АЛАЙ И ПАМИР – ДВА РАЗНОРОДНЫХ ФРАГМЕНТА ЗЕМНОЙ КОРЫ. Два находящиеся в непосредственном контакте горных сооружения – Гиссаро-Алайский и Памирский – принадлежат различным сегментам земной коры и сформированы в разных геотектонических обстановках. Они обладают собственной морфологией, стилем тектонической структуры и механизмом ее формирования, историей развития и пр. Это различие необходимо учитывать при разработке общего для обоих регионов сценария альпийской (в том числе, новейшей) геодинамики.

Тезис, казалось бы, очевидный, тем не менее, как показало изучение геологической литературы и картографии, сколько-нибудь глубокий сравнительный (и комплексный) анализ геологии этих двух горных систем отсутствует. Это приводит к избыточной множественности и недостаточной обоснованности решений, а также неполноте картины геодинамического развития региона в целом. Проведенный в рамках работы по Проект

анализ позволил выявить главные черты отличия и сходства горных систем Памира и Гиссаро-Алая, которые лягут в основу дальнейших исследований.

- ТАДЖИКСКО-АЛАЙСКАЯ ДЕПРЕССИЯ – ПОГРАНИЧНАЯ ПЛИТНО-ОРОГЕННАЯ НАЛОЖЕННАЯ СТРУКТУРА, ЯВЛЯЮЩАЯСЯ «ДЕМПФЕРОМ» МЕЖДУ ПРИНЦИПИАЛЬНО РАЗЛИЧНЫМИ СЕГМЕНТАМИ ЛИТОСФЕРЫ ПАМИРА И ГИССАРО-АЛАЯ.

Одним из важных вопросов геодинамики является вопрос о взаимодействии блоков земной коры с разным строением и историей развития, и именно эта проблема встает перед исследователями при рассмотрении взаимодействия Гиссаро-Алая и Памира. Априори можно полагать, что это взаимодействие осуществляется (по крайней мере, на верхнекоровом уровне) в зоне депрессионных структур, разграничивающих эти горные сооружения.

Гиссаро-Алай и Памир отделены друг от друга пониженными участками (долинами, депрессиями). Депрессионные структуры выполнены эпиплатформенными и орогенными отложениями мезозоя и кайнозоя. На западе – это Афгано-Таджикская впадина, северо-восточная часть которой известна как Таджикская депрессия. К западу она постепенно делается уже и переходит в Алайскую высокогорную впадину, которая является реликтом депрессии, сохранившимся перед фронтом северопамирских надвигов. Восточнее Алайская долина сливается с Таримской. В совокупности эти три впадины составляют единую Таджикско-Алайско-Таримскую депрессию. Нужно отметить, что депрессиями эти морфоструктуры являются лишь только по отношению к обрамляющим их высокогорьям. Размах рельефа в пределах Таджикской депрессии достигает километра и более, а поверхность Алайской долины находится на высотах более 2,5 – 3-х тысяч метров.

(а) Заложение отрицательных Таджикской и Алайской морфоструктур (Таджикско-Алайской депрессии – ТАД) связано с этапом эпигерцинской стабилизации и последующей орогенной активизации Гиссаро-Алая и расположенных южнее него территорий.

Становление и эволюция ТАД осуществлялось по тому же сценарию, что и в пределах Гиссаро-Алая, то есть за счет формирования складок основания большой амплитуды: Ферганская впадина – мегасвод Гиссаро-Алая – Афгано-Таджикская впадина. Можно полагать, что фундамент АТД представлен сходными с Южным Тянь-Шанем комплексами пород, испытавшими герцинскую консолидацию. Весьма вероятно, что и южный борт Таджикско-Алайской впадины сложен аналогичными породными ассоциациями с герцинским возрастом консолидации (Внутренняя зона Северного Памира), но испытавшими сильное влияние киммерийско-альпийских движений.

(б) Существует широтная сегментация впадин, в частности, четко прослеживается граница между собственно Таджикской и Алайской впадинами.

Эта граница проводится по морфологически выраженному поперечному поднятию в пределах Алайской долины, восточнее селения Джиргиталь. По данным ГСЗ зоне поднятия соответствует утолщение корового слоя (прогиб по поверхности М), а также переход от сильно сейсмичного Гиссаро-Каратегинского района к слабо сейсмичному – Алайскому. К северу на простирании зоны находится область максимальных высотных отметок расположения фундамента Каратегина и Алая, а также область наибольших деформаций поверхности фундамента. К югу на этом же меридиане находится наиболее высокий на Памире хребет Академии Наук. Этой же линии примерно соответствует граница «платообразного» Восточного Памира и «расчлененного» Западного. Вся совокупность данных позволяет предполагать, что этот раздел является одной из поперечных клавиш, соответствующих границе между относительно жесткой Таримской платформой с докембрийским фундаментом и более мобильным сегментом земной коры с герцинско-альпийской консолидацией.

Данное решение дискуссионно, но как бы там ни было, граница между Алайской и Таджикской депрессиями имеет, по-видимому, фундаментальный смысл, отражающий серьезные геодинамические факторы, которые необходимо учитывать при рассмотрении общей геодинамики Памиро-Алайского региона.

(в) Границы Таджикско-Алайской отрицательной структуры на большем их протяжении представлены зонами разломов.

Граница ТАД с Гиссаро-Алаем маркируется широкой зоной круто наклонённого Гиссаро-Кокшаальского (Южно-Гиссарского, Сурхоб-Ханакинского) разлома, состоящего из нескольких ветвей и имеющего, вероятно глубинное заложение. Особый интерес представляет Сурхоб-Илякская зона разломов, которая в целом представляет собой правый взбросо-сдвиг. На востоке (Каракульский участок) Сурхоб-Илякская зона обрезается системой поперечных нарушений; к югу она переходит в Дарваз-Алайскую зону разломов и сливается с Дарвазским разломом. Вертикальная составляющая движений во много раз меньше горизонтальной. В то же время зона разлома не является единой, а представляет собой несколько кулисно подставляющих друг друга ветвей, разделенных перемычками, в пределах которых отложения мезозоя и кайнозоя стратиграфически налегают на породы палеозойского фундамента.

Проведение южной границы ТАД неоднозначно и зависит от времени ее фиксации фиксации и того смысла, который вложен в понятие «депрессия». Дело в том, что к югу от тех структур, которые мы называем Афгано-Таджикской и Алайской впадинами, то есть относительно пониженными участками земной поверхности, расположены мощные горные хребты: Вахшский, Хазретешы, Петра Первого и Заалайский. В современной морфоструктуре они не могут быть отнесены к категории впадин. Но в мезозое – раннем кайнозое область, занимаемая сейчас этими хребтами и Афгано-Таджикской впадиной, представляла собой единый седиментационный бассейн, который заполнялся отложениями соответствующего возраста. На новейшем этапе в результате сближения Памира и Гиссаро-Алая произошло сгущивание молодых отложений и формирование горного хребта перед фронтом надвигающихся памирских структур. Таким образом, вопрос о границе Памира и ТАД имеет двойное решение: границу можно проводить или по контакту опущенных и приподнятых блоков (морфоструктурный подход) или в соответствии с первичными очертаниями палеобассейна.

В первом варианте южную границу Афгано-Таджикской впадины проводится по Пашскому, Сурхобскому и Заалайскому разломам (зона Вахш-Заалайская зона разломов); во втором – по зоне Дарваз-Каракульского разлома. В современной геолого-географической литературе обычно принимается первый вариант, а структуры, расположенные между двумя зонами разломов – Вахш-Заалайским и Дарваз-Каракульским рассматриваются в качестве Внешней зоны Памира. Выбор предпочтительного варианта поэтому зависит от конкретной задачи исследования, но отметим при этом важное положение: единая первоначально геоструктура (депрессия) в процессе эволюции претерпела дифференциацию. Северная часть продолжала и продолжает развиваться как относительно пониженный участок земной коры, южная часть – напротив – испытала значительное воздымание и вошла в состав Памирского горного сооружения. Это явление, безусловно, является отражением специфики геодинамического режима зоны сочленения горных систем Памира и Гиссаро-Алая

(г) Тектоническая структура Таджикско-Алайской депрессии резко отлична от структуры Гиссаро-Алая и Памира.

Рассмотрим данные по тектонике Таджикско-Алайской депрессии в совокупности со структурой Внешней зоны Памира (хребты Петра Первого и Заалайский), с которой они в геодинамическом плане представляют единое целое [Белеловский и др., 1971; Буртман, 2012; Захаров, 1973; Рыбин, 1973; Скобелев, 1977) и др.]. В чехольном комплексе этих структур выделяется два комплекса, отвечающие платформенному и орогенному режимам развития. Платформенный чехол (4 км) представлен преимущественно морскими

отложениями юрского, мелового и палеогенового возраста. Орогенный – сложен континентальной молассой неогена и антропогена (3–7 км). Формирование современной структуры и рельефа ТАД произошло в новейшую эпоху орогенеза на неоген-антропогеновом отрезке геологической истории.

Тектоническое строение Таджикско-Алайской впадины по простиранию неоднородно. Общая структура в плане образует рисунок конского хвоста: узкая полоса мезозойско-кайнозойских отложений восточной части к западу расширяется, образуя виргацию, открытую к югу. Простирание осей складчатых структур следуют очертаниям ограничивающих депрессию горных сооружений. В центральной, широкой части структуры вся толща пород смята в напряженные, часто дисгармоничные складки, осложненные надвигами. Антиклинали относительно узкие, имеют гребневидную, килевидную или грибообразную форму, часто асимметричны. Антиклинали чередуются с широкими синклиналями с пологими днищами. У западной и восточной границ выделяется Байсунский и Оби-Ниоуский участки прибортовых дислокаций, тяготеющие к зонам ограничивающих ТАД разломов. Характерны предгорные ступени со своим стилем тектоники, промежуточным между таковыми Тянь-Шанем и ТАД. Широко развиты дисгармоничные срывы и дисгармоничная складчатость разного масштаба, развивающаяся в пределах единого разреза. Главные срывы фиксируются по поверхности фундамент/чехол и по поверхности юрского солевого комплекса. Возникновение складчатости и вторичной дисгармонии связывается с различными причинами: с реакцией литологически неоднородного расслоенного чехла на внешние тектонические усилия; с разбуханием глинистых толщ при их обогащении флюидами; в результате увеличения объема пород за счет регионального метаморфизма; с оползневыми процессами; с короблением над дифференцированными перемещениями блоков консолидированного фундамента (складчатость надблокового коробления). Верхние части чехла дислоцированы интенсивнее, чем цоколь, поверхность которого, судя по геофизическим данным, образует лишь малоамплитудные пологие изгибы. Длина слоев складчатого чехла больше, чем длина поверхности цоколя.

Характер дислоцированности отложений центральной части впадины, относительная ненарушенность поверхности кристаллического цоколя, наряду с отсутствием значительных надвиговых перекрытий по бортам, не позволяет допустить масштабное сжатие и сокращение пространства на новейшем этапе развития территории.

При движении в восточном направлении стиль деформаций меняется. Отложения мезозоя и кайнозоя образуют серию сжатых складчато-надвиговых структур, опрокинутых в северном направлении. Складки-надвиги формируют в основном синклинальные формы, антиклинали чаще всего редуцированы (срезаны надвигами). Фиксируются также редкие пережатые грибовидные антиклинали. Складчатость связана с дисгармоничным срывом по поверхности юрских гипсо- и соленосных горизонтов.

Таким образом, Таджикско-Алайская депрессия – платформенно-орогенная альпийская структура, являющаяся в совокупности со структурой Внешней зоны Памира пограничным доменом между литосферными сегментами Памира и Гиссаро-Алая. В палеогеографическом смысле она тяготеет к Гиссаро-Алайскому домену и резко отлична от Памирского. В структурном отношении Таджикско-Алайская впадина, за исключением прибортовых зон, резко отличается от Гиссаро-Алая и Памира и характеризуется собственным стилем тектонического строения, механизмами деформации, кинематикой движения горных масс.

- **ТЕКТОНИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ (РЕИДНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ) – ОДИН ИЗ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПАМИР-ГИССАРО-АЛАЯ.**

Тектоническое течение – реальный структурообразующий фактор, который должен найти отражение в модели современной структуры и геодинамической эволюции Памир-Гиссаро-Алайского региона.

3.9.2 Построение глубинной геоэлектрической модели литосферы исследуемой зоны по материалам профильных МТ-МВ зондирований.

За последние годы в зоне Памир-Гиссаро-Алая силами Научной станции РАН было выполнено несколько профилей МТЗ-МВЗ: «Дараут-Курган», «TIPAGE-ALAI» и «Нура» (рис. 1), секущих в субмеридиональном направлении Алайскую впадину и ее горное обрамление в районе наибольшего сближения Памира и Тянь-Шаня.

В результате выполненного комплекса зондирований на гетерогенной сети наблюдений был сформирован многокомпонентный ансамбль оценок передаточных операторов (импеданса и типпера), включающий одноточечные (local) и двухточечные (remote reference) оценки передаточных функций в объединенном диапазоне периодов $T=0.001-10000$ с.

С использованием этих данных была проведена количественная интерпретация - двумерная (2-D) инверсия с помощью программы Rodi-Mackie, реализующей метод нелинейных сопряженных градиентов, и построена двумерная геоэлектрическая модель «TIPAGE-ALAI», представляющая собой структурно-геоэлектрический разрез земной коры в зоне сочленения Памира и Тянь-Шаня вдоль меридиана 73,4 градуса в.д.

Входной ансамбль инвертируемых данных включал в себя наблюдаемые значения кажущегося сопротивления и фазы импеданса для двух поляризаций электромагнитного поля, а также значения геомагнитного типпера в (Re, Im) представлении, заданные в 78 точках на профиле длиной около 170 км для 30 периодов зондирования в интервале от 1000 Гц до 2000 с.

Сеточная аппроксимация модели имеет 228 горизонтальных узлов и 128 слоев с латеральными изменениями, по размеру меньшими, чем коэффициент 1.07 между любыми соседними ячейками, для того, чтобы удовлетворить ограничениям программы 2D инверсии. Большинство слоев предназначены для адекватного представления в модели топографического рельефа, изменения высот которого вдоль линии профиля, составляют около 1.5 км. Такая детальная аппроксимация рельефа необходима для обеспечения подбора данных на высоких частотах (от 100 Гц). После нескольких тестовых расчетов инверсии было определено значение параметра регуляризации $\tau = 3.0$.

Пределы погрешностей (весовые коэффициенты) инвертируемых данных были установлены следующим образом: модуль кажущегося сопротивления (TE-мода) – 30%, модуль кажущегося сопротивления (TM-мода) – 30%., фаза импеданса (TE-мода) – 5°, фаза импеданса (TM-мода) – 5°, типпер (Hz) – 0.1%.

Стартовая модель для 2-D инверсии представляет собой однородную среду 100 Ом-м до глубин 100 км, ниже – распределение сопротивления горизонтально-слоистое. Следует отметить, что плотность и геометрия сеточной аппроксимации в процедуре автоматизированной инверсии, а также включение всех ячеек разбиения в оптимизационный подбор обеспечивают плавность построения геоэлектрических структур и отсутствие ограничений для различных гипотез о глубинном строении региона исследования. Далее была выполнена совместная бимодальная 2-D инверсия многокомпонентного ансамбля данных, включающего амплитуды кажущегося сопротивления, фазы импеданса и типперы, для профиля «ALAI-TIPAGE».

В результате выполненных 300 внутренних итераций в процессе совместной параллельной инверсии всего входного ансамбля данных погрешность подбора по всем компонентам (RMS-невязка) составила 1.52.

В моделях, возбуждаемых электрическим полем, поляризованным в крест оси геоэлектрической однородности (TM-мода), МТ передаточные функции для большинства узлов сетки были получены невязки, не превышающие 20% по модулю и 6° по фазе.

Для моделей, возбуждаемых электрическим полем, поляризованным вдоль оси геоэлектрической однородности (TE-мода), МТ передаточные функции имеют более высокие невязки прежде всего из-за того, что выбранные весовые коэффициенты для этой моды значительно превышают предел погрешности TM-моды. В модели получены

небольшие величины МВ передаточной функции (типперов), которые хорошо согласуются с малыми значениями (< 0.1) экспериментальных данных, но ошибки достаточно велики из-за низкого отношения «сигнал-шум» в исходных данных.

Геоэлектрическая модель по профилю «TIPAGE-ALAI» представлена на рис. 2.

В южной части разреза (в районе оз. Кара-Куль) выделяется проводник (1) с сопротивлением до 2-3 Ом·м на глубинах от 15 до 30 км. Под Заалайским хребтом выявляется проводящая зона (2), соответствующая Главному Памирскому надвигу. Также определяется мощная субвертикальная проводящая зона (3) под Алайской впадиной, достигающая глубины 100 км и имеющая несколько ответвлений в самой верхней части разреза до глубин 5-10 км. В северной части разреза присутствует субгоризонтальная проводящая структура (4), которая начинается под северным склоном Алайского хребта на глубинах порядка 80 км и заканчивается под Ферганской впадиной, поднимаясь до глубин 15-20 км.

Аналогичным образом, с использованием программы Rodi-Mackie была выполнена двумерная инверсия наблюдаемых данных по профилям «Дараут-Курган» и «Нура». Результаты инверсии представлены на рис. 3.

На всех полученных профильных разрезах трассируется линейная субширотная проводящая структура в интервале глубин 0-25 км, соответствующая зоне Главного Памирского надвига. Причем максимальная электрическая активность (пространственные размеры и проводимость) этого продольного проводника определяется в западном и центральном сечениях (профили «Дараут-Курган» и «TIPAGE»). В восточной части Алайской зоны (сечение по профилю «Нура») наблюдается уменьшение ширины этой проводящей структуры и ее проводимости. Общая субвертикальная направленность проводящей зоны, пространственно приуроченная к Главному Памирскому надвигу, сохраняется практически без изменений во всех трех рассматриваемых сечениях.

3.9.3 Расчет двумерного поля современных деформаций земной коры исследуемой зоны по данным GPS наблюдений.

Современные движения и деформации, наблюдаемые на поверхности Земли с помощью средств космической геодезии (GPS), являются одним из проявлений сложных геодинамических процессов, происходящих внутри нее. Характер деформаций земной коры в условиях современных тектонических движений зависит от многих факторов, таких как физические свойства пород, глубинное строение земной коры, степень ее расслоенности и др. [Vogomolov et. al., 2007; Рыбин, Костюк, 2008]. Результаты проводимых в Памир-Гиссаро-Алайской области с 2007 г. GPS наблюдений позволяют исследовать кинематические характеристики движений и получить количественную оценку поля современных деформаций земной поверхности этой области. Так, в региональном масштабе анализ кинематики горной системы Памира и окружающих территорий, включая рассматриваемую нами зону, представлен в работе [Ischuk et. al., 2013]. Авторами показано, что GPS измерения определяют скорость относительного движения ~ 30 мм/год в северном направлении, характеризующее сближение двух стабильных регионов: Пакистана и Евразии. В этой конвергенции локализованное сокращение $\sim 10-15$ мм/год происходит в пределах Алайской зоны. Поэтому особый интерес представляет построение количественной модели современных деформаций земной поверхности Памир-Гиссаро-Алайской области на основе результатов GPS наблюдений.

Для решения этой задачи был использован программный комплекс «Sur_GPS_strains» [Мансуров, 2012], реализующий методику расчета двумерного поля скорости деформаций, основанную на вычислении тензора градиента скорости [Мансуров, 2013].

При построении двумерной модели современных деформаций земной коры Памир-Гиссаро-Алайской зоны в качестве исходных данных был использован каталог оцененных скоростей GPS марок, рассчитанный по результатам измерений, проводимых

лабораторией космической геодезии ИС РАН. Рельеф исследуемого региона показан на рис. 4. Оценки скоростей из этого каталога представлены на рис. 5. Данный набор (113 марок) не содержит марок, в которых ошибки определения скорости превосходят 4 мм/год по горизонтальным компонентам и 8 мм/год по вертикальной компоненте.

При расчете регион, ограниченный 36,5 и 41 градусами северной широты и 68 и 78 градусами восточной долготы был покрыт равномерной сеткой точек с шагом 16,6 км по направлениям север-юг и восток-запад. При расчете использовался сглаживающий коэффициент $d_0 = 50$ км, что хорошо подходит для исследуемого региона с относительно редко расположенными пунктами наблюдений.

Поле диагонализированного тензора скорости современной деформации земной коры, рассчитанное по двумерной модели на выбранной сетке, показано на рис. 6. Поле следа тензора (условная плоская дилатация) показано на рис. 7.

Как видно из рис. 4 и 5, для южного Тянь-Шаня характерно сжатие с абсолютными значениями около $25 \cdot 10^{-9}$ и направлением, меняющимся от субмеридионального (южная часть Ферганского хребта) до азимута -60° (Западная оконечность Заравшанского хребта).

Для центральной части северного Памира (от хребта Академии Наук до Сарыкольского хребта, $38.5-39.5^\circ$ с.ш., $72-74^\circ$ в.д.) и зоны сопряжения Памира и Тянь-Шаня (Алайская впадина, 39.5° с.ш., $72-74^\circ$ в.д.) характерно доминирующее сжатие по азимуту около -30° с абсолютными значениями до $70 \cdot 10^{-9}$. К западу от этой зоны до 70.5° в.д. (изгиб Дарвазского хребта) азимут сжатия меняется до -45° при абсолютных значениях до $60 \cdot 10^{-9}$.

Далее на запад, в зоне сопряжения Северного Памира и Таджикской депрессии ($38-39^\circ$ с.ш., $69.5-70.5^\circ$ в.д.) наблюдается сжатие по азимуту -30° и растяжение по азимуту 60° , причем их абсолютные значения приблизительно одинаково меняются от $30 \cdot 10^{-9}$ (на севере) до $60 \cdot 10^{-9}$ (на юге). Далее на запад в Таджикской депрессии растяжение исчезает, а азимут сжатия меняется от -30° до -80° при абсолютных значениях около $60 \cdot 10^{-9}$.

К востоку от северной части Сарыкольского хребта до западной оконечности Таримской впадины (Северо-Восточный Памир, окрестности хребта Кингтал, $38.5-40^\circ$ с.ш., $74-76^\circ$ в.д.) характер деформации плавно меняется от субмеридионального сжатия с абсолютными значениями $50 \cdot 10^{-9}$ (на севере) к субширотному растяжению с абсолютными значениями $50 \cdot 10^{-9}$ (на юге). К югу от этой зоны (Восточный Памир, южная часть Сарыкольского хребта и северная часть хребта Западный Кунь-Лунь, $37.5-38.5^\circ$ с.ш., $74-76^\circ$ в.д.) субширотное растяжение убывает от значений $50 \cdot 10^{-9}$ (на севере) к $10 \cdot 10^{-9}$ (на юге). Для Центрального Памира (окрестности Северо-Аличурского хребта, $37.5-38.5^\circ$ с.ш., $72-74^\circ$ в.д.) сжатие по азимуту около -30° с абсолютными значениями до $30 \cdot 10^{-9}$ и растяжение по азимуту 60° с абсолютными значениями до $20 \cdot 10^{-9}$.

Таким образом, пространственное распределение деформации земной коры Памир-Гиссаро-Алайской области - крайне неоднородно. Режим сжатия доминирует на территории Южного Тянь-Шаня. Максимальные величины скорости сжатия наблюдаются в зоне сопряжения Памира и Тянь-Шаня. В восточном Памире выделяется обширная область субширотного растяжения.

3.9.4 Анализ пространственного распределения сейсмичности исследуемой Памир-Гиссаро-Алайской зоны.

Распределение сейсмичности в геологическом объеме этого района крайне неоднородно – о чем свидетельствуют рис. 8 и 9.

На карте эпицентров отчетливо проявляется концентрация землетрясений в узкой полосе вдоль южного борта Алайской впадины.

На рис. 9 показано широтное распределение по глубинам очагов землетрясений энергетического класса $K > 6$, эпицентры которых представлены на рис.8. В целом можно отметить, что оно достаточно неравномерно и наибольшее число таких землетрясений приурочено к интервалу глубин 7-20 км.

На рис. 10 показаны построенный геоэлектрический разрез литосферы исследуемой Памиро-Алайской области по профилю «TIPAGE-ALAI» и распределение очагов землетрясений по глубинам в полосе шириной ± 50 км от линии профиля с классом $K > 11$ по данным сейсмологической сети Института сейсмологии НАН КР за период наблюдений 1978-2013 гг. Практически все очаги землетрясений расположены над проводящим горизонтом. Очаги землетрясений локализируются в пределах высокоомного слоя и выступов субвертикальных проводящих тел, проникающих в верхнюю кору, концентрируясь преимущественно вблизи границ между выступами проводящих тел и соседними высокоомными блоками, а также на участках с резкими перепадами глубин проводящего слоя. Таким образом, контакты между блоками или телами с контрастными геоэлектрическими параметрами можно рассматривать как вероятные объекты повышенной сейсмической активности.

Исключение составляет проводящая область – 2, пространственно приуроченная к зоне Главного Памирского надвига. Гипоцентры землетрясений с $K > 11$ распределены внутри всей этой области до глубин 40 км. Причину такой аномалии можно объяснить присутствием в проводящем объеме графитизированных образований.

3.10.1.1 Количество научных работ по Проекту, опубликованных в 2014 году:

2

3.10.1.2 Из них в изданиях, включенных в перечень ВАК:

0

3.10.1.3 Из них в изданиях, включенных в системы цитирования:

0

3.10.2 Количество научных работ, подготовленных в ходе выполнения Проекта и принятых к печати в 2014 году:

1

3.11. Участие в 2014 году в научных мероприятиях по тематике Проекта:

Участие в работе XXII Международной школы-семинара по электромагнитной индукции в Земле, г. Веймар, Германия

3.12. Участие в 2014 году в экспедициях по тематике Проекта, которые проводились при финансовой поддержке РФФИ:

15-05-10058к

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

500000 руб.

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

<http://leo.gdirc.kg/novosti/242-godovie-otcheti-iniciativnih-proekrov-rffi>

3.15. Библиографический список всех публикаций по Проекту, опубликованных в 2014 году, в порядке значимости:

Мансуров А.Н., Рыбин А.К. Количественная оценка современных деформаций земной коры Памир-Гиссаро-Алайской области по данным GPS наблюдений // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета (принята в печать)

Матюков В.Е., Рыбин А. К., Баталев В. Ю., Баталева Е. А. Глубинная геоэлектрическая структура Памиро-Алайской зоны // Тезисы докладов Шестого международного симпозиума «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов» г.Бишкек, 23-29 июня 2014 г., с. 200-201.

Matiukov V. E., Rybin A.K., Batalev V. Yu., Bataleva E.A. Deep geoelectrical structure of Pamir-Alai zone by magnetotellurical and magnetovariational data // Extended Abstract, 22nd EM Induction Workshop, Weimar, Germany, August 24-30, 2014.

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

б – Рациональное природопользование


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

19 – Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды

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

Не очевидно

Подпись Руководителя проекта

 /Рыбин А.К. /

Рисунки к отчету



Рис. 1. Карта-схема расположения магнитотеллурических профилей «Дараут-Курган», «TIPAGE-ALAI» и «Нура», пересекающих Алайскую впадину. Синие кружки - пункты МТЗ-МВЗ; синие линии – профили МТЗ-МВЗ (с запада на восток: «Дараут-Курган», «TIPAGE», «Нура»); красные кружки – ближайшие населенные пункты; красные линии – основные разломы: ГПН – Главный Памирский надвиг (Заалайский разлом).

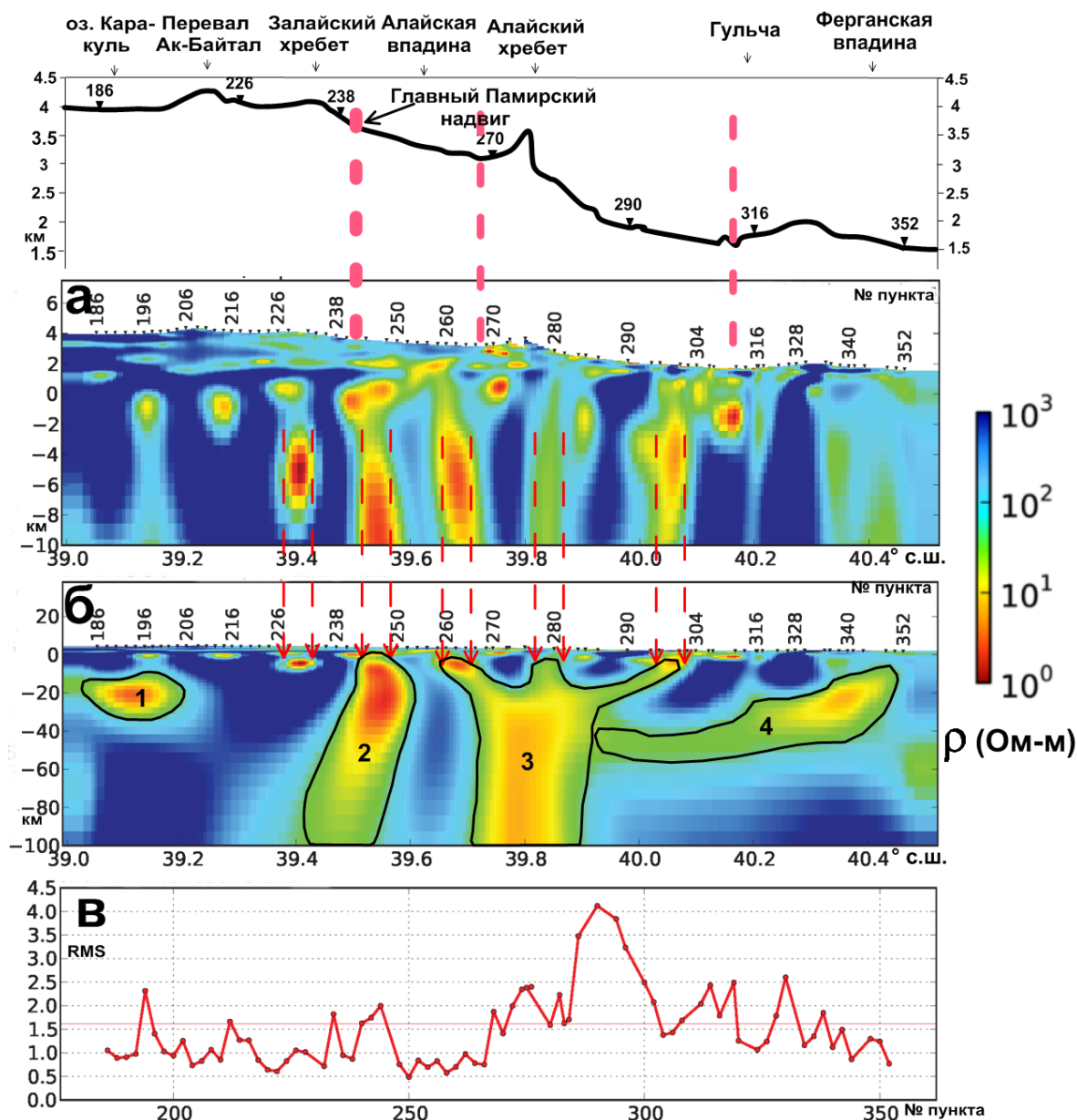


Рис. 2. Геоэлектрический разрез региональной профильной 2D-модели «TIRAGE-ALAI». **а** – верхняя часть разреза, **б** – полный разрез, **в** – распределение погрешности подбора данных по всем инвертируемым компонентам (RMS-невязка) для пунктов профиля.

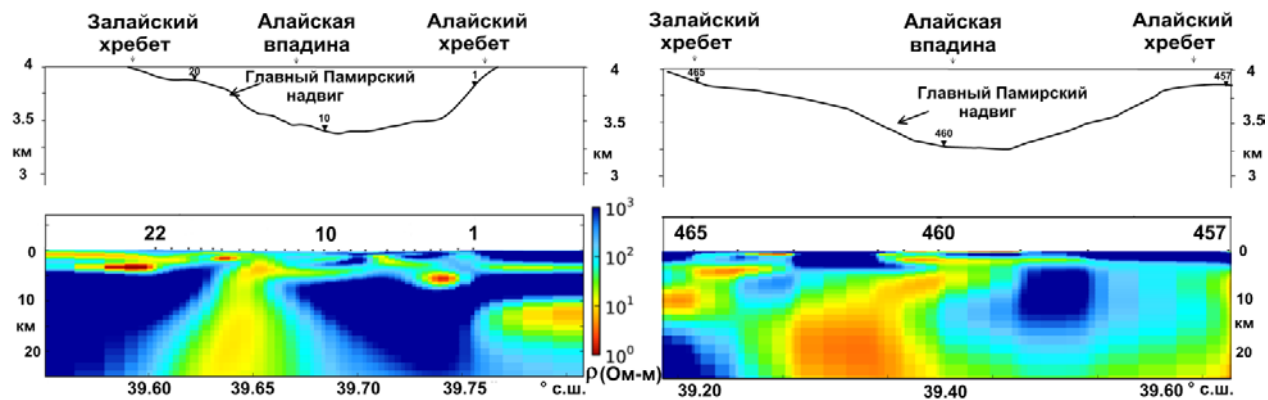


Рис. 3. Геоэлектрические разрезы вдоль локальных профилей «Нура» (слева) и «Дараут-Курган» (справа).

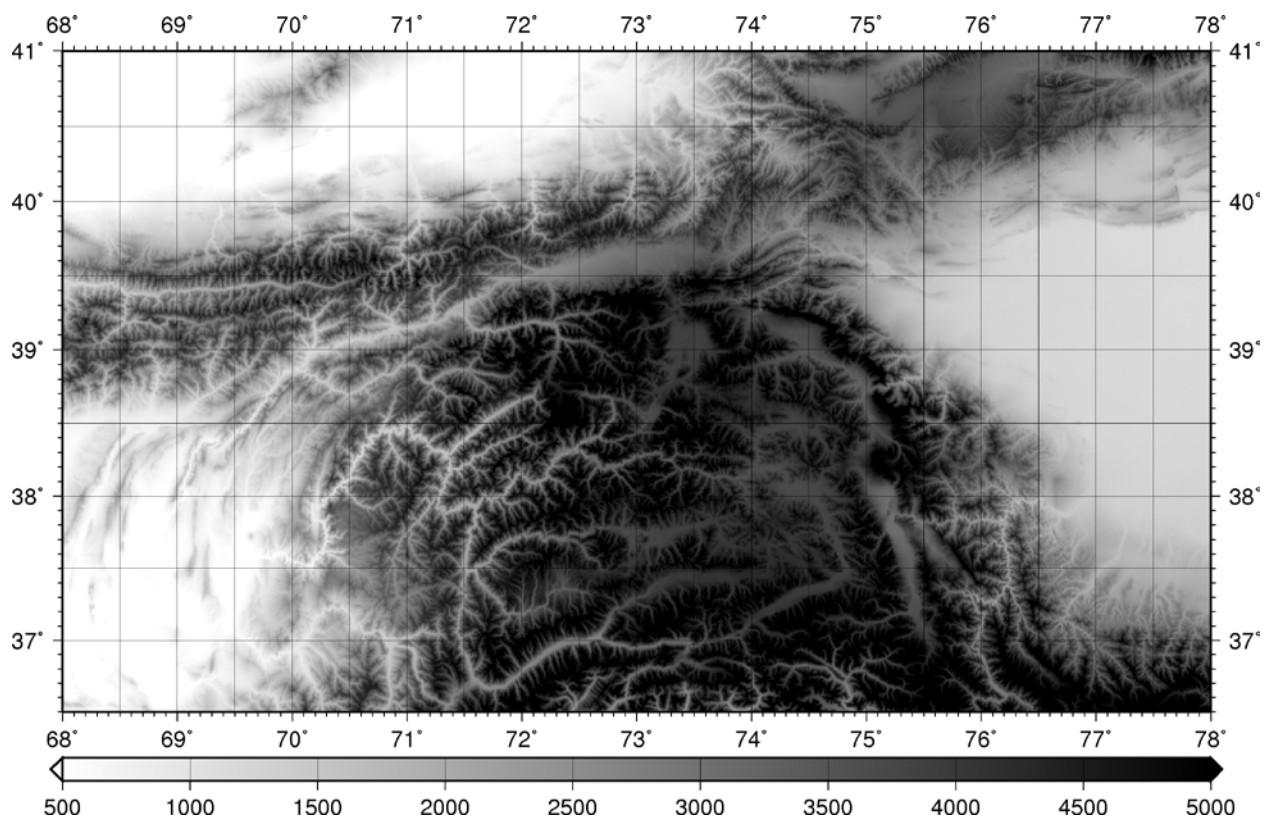


Рис. 4. Рельеф исследуемого региона

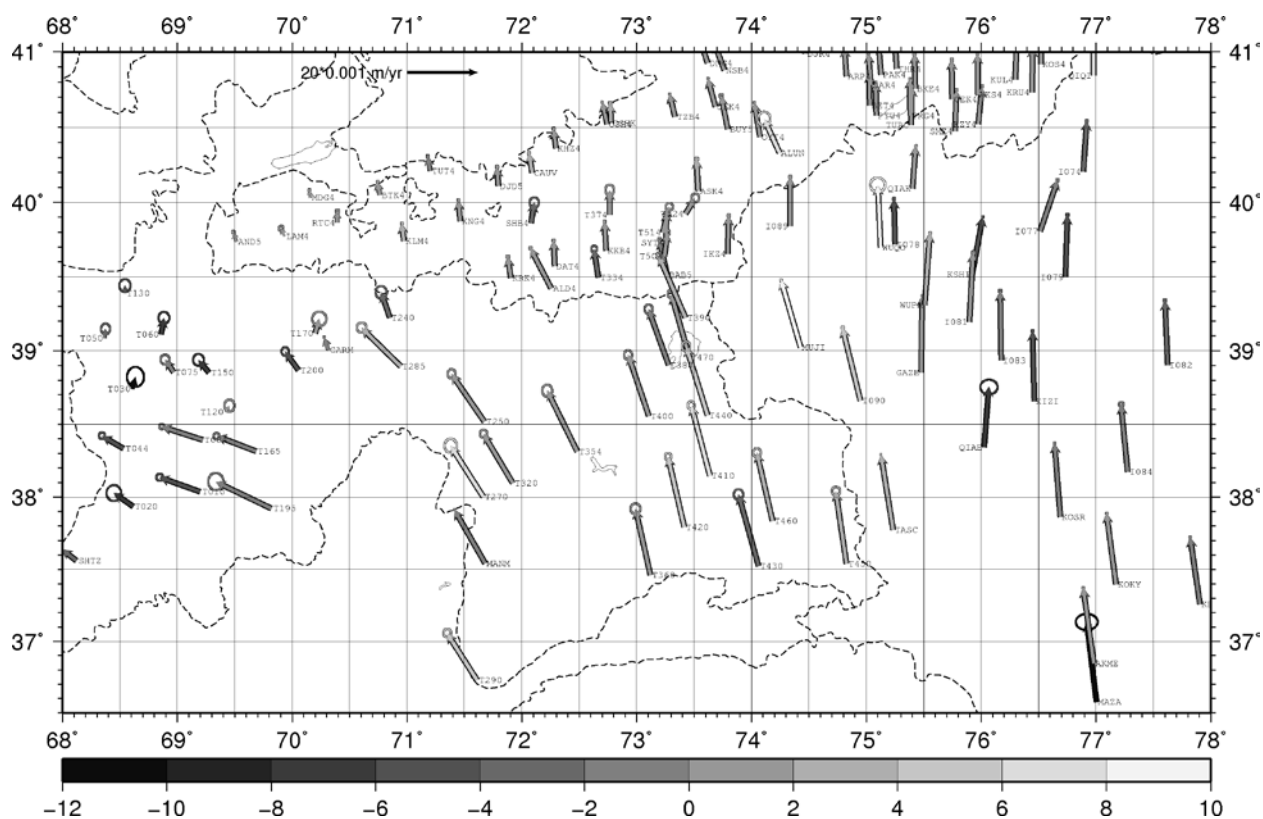


Рис. 5. Оцененные скорости GPS марок Центрально-Азиатской сети наблюдений. Цветом показаны значения вертикальной компоненты скорости.

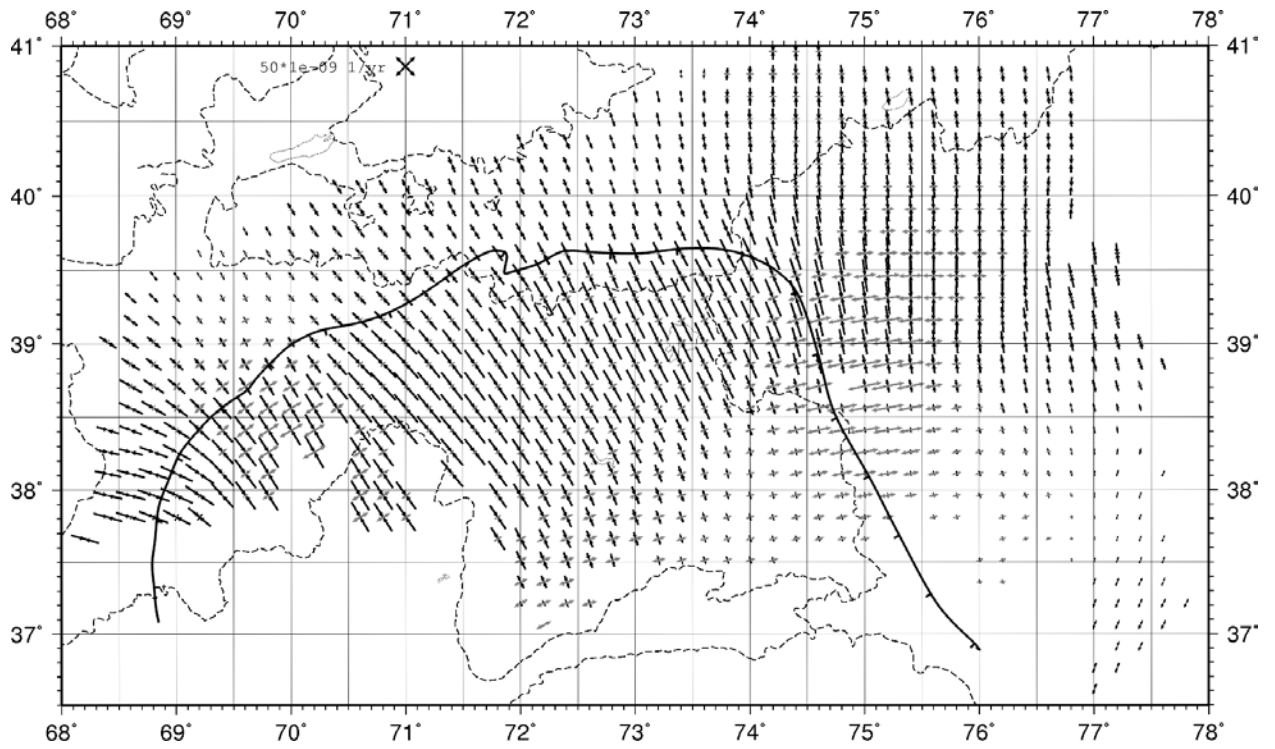


Рис. 6. Рассчитанное поле тензора скорости 2D деформации. Черный цвет – сжатие, серый – растяжение.

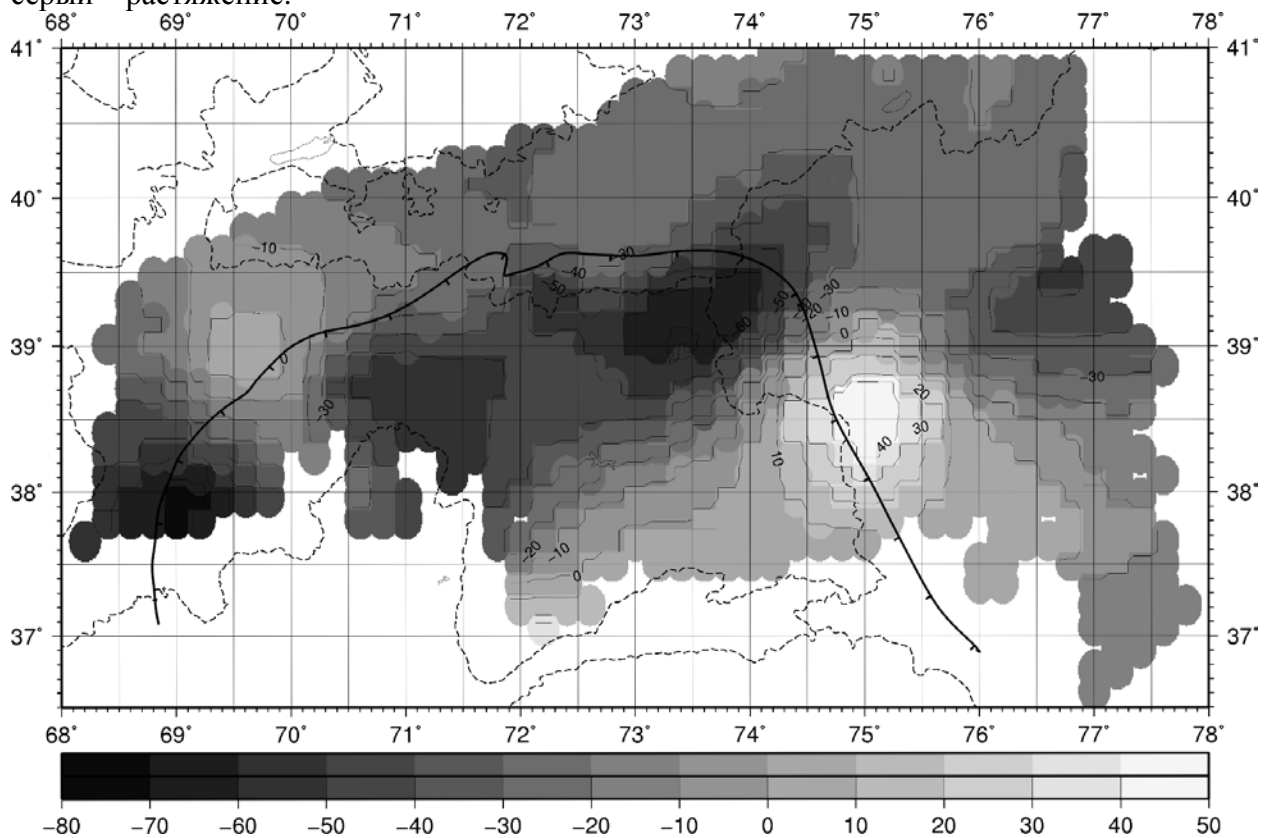


Рис. 7. Поле следа тензора скорости 2D деформации (в масштабе 10^{-9}). Отрицательные значения (темный цвет) говорят о сжатии.

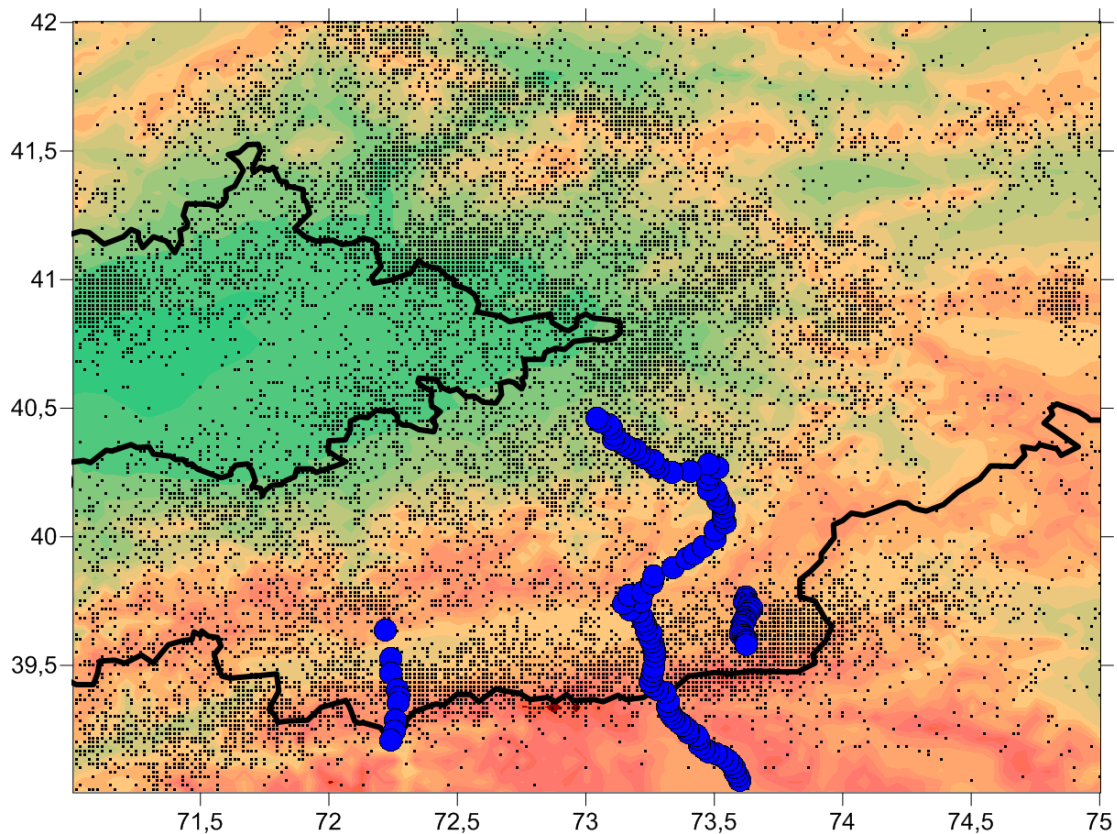


Рис. 8. Карта распределения эпицентров землетрясений энергетического класса ($K \geq 6$) для территории Памиро-Алайского региона за период наблюдений 1978-2013 гг. (по данным сейсмологической сети Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики). Всего - 33631 событий.

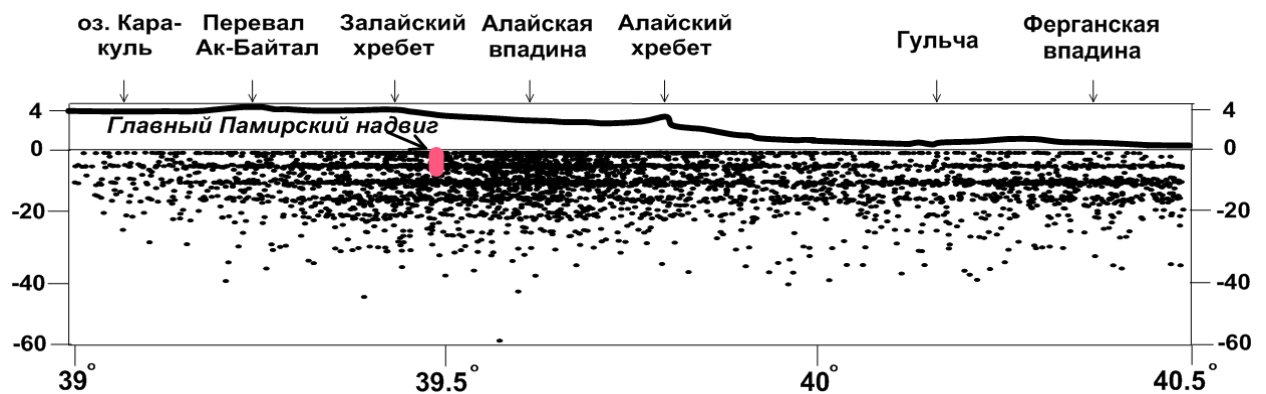


Рис. 9. Широтное распределение очагов землетрясений с $K > 6$ по глубинам в полосе шириной ± 50 км от линии профиля «TIRAGE-ALAI» (по данным сейсмологической сети Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики за период наблюдений 1978-2013 гг.). Всего - 5631 событий. Горизонтальная ось – географическая долгота в град. в.д., вертикальная ось – глубина в км.

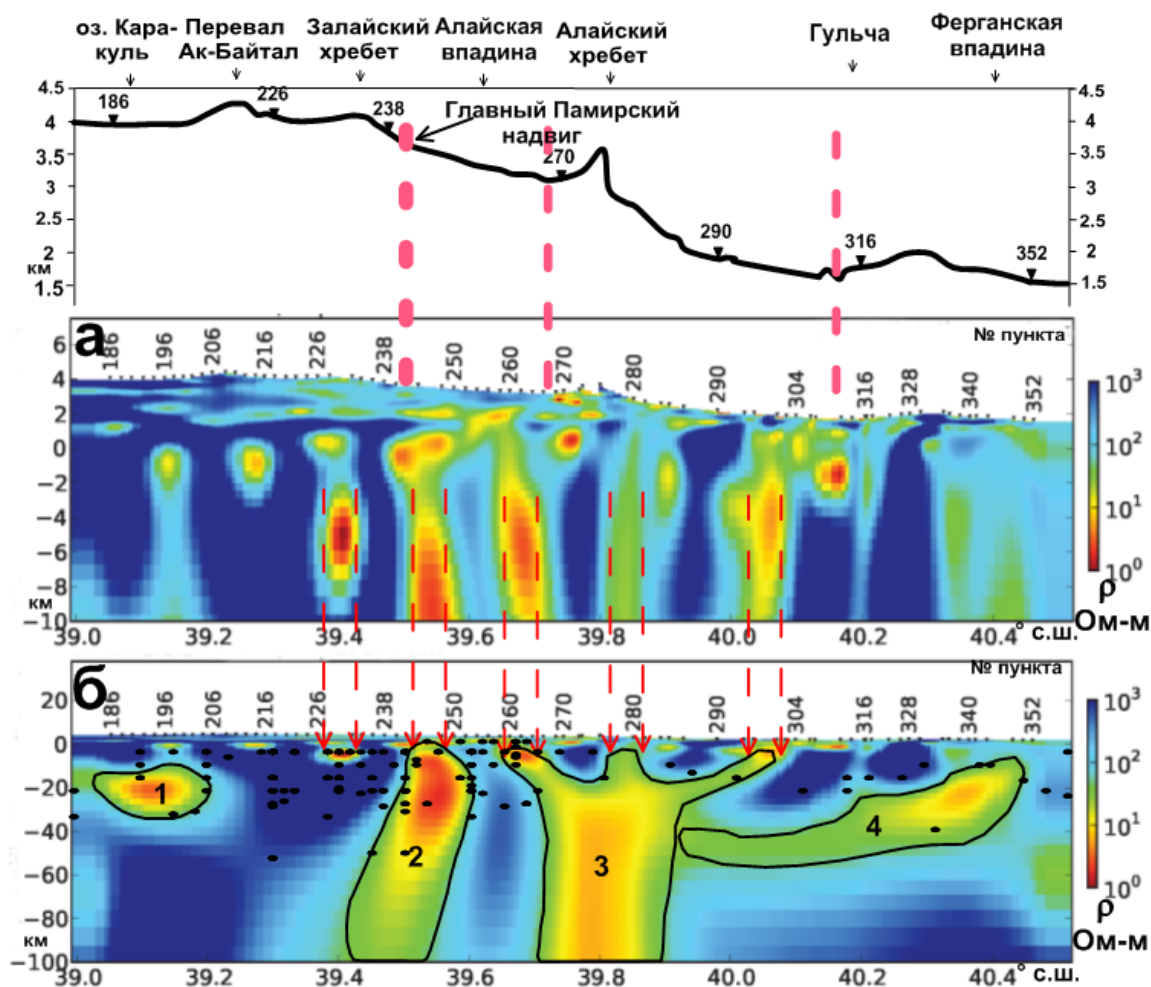


Рис. 10. Геоэлектрический разрез профильной 2D-модели «TIRAGE-ALAI». а – верхняя часть разреза, б – полный разрез. Темными кружками показаны гипоцентры землетрясений $K > 11$ в полосе шириной ± 50 км от линии профиля (данные сейсмологической сети Института сейсмологии НАН КР за период наблюдений 1978-2013 гг.). Всего – 102 события.

Список используемой литературы (для пункта 3.9.1 отчета)

1. Арган Э. Тектоника Азии. М.-Л.: ОНТИ, 1922. 192 с.
2. Баженов М.Л. и др. Палеомагнетизм... Геотектоника. 1993. № 6. С. 50 – 62.
3. Белеловский М.Л., Седлецкий В.И., Коробка В.С. О соляной тектонике мега антиклинали юго-западного Гиссара и Афгано-таджикской впадины // Геотектоника. 1971. № 2. С. 102 – 114.
4. Борнеман Б.Ф., Овчинников С.К. Геология Заалайского хребта (северный склон центральной части). Труды ТПЭ 1934 г. Вып. LXV. Л.: Изд-ие ТПЭ, 1936. 64 с.
5. Буртман В.С. Тянь-Шань и Высокая Азия. Тектоника и геодинамика в палеозое. М.: ГЕОС, 2006. 216 с.
6. Буртман В.С. Тянь-Шань и Высокая Азия. Геодинамика в кайнозое. М.: ГЕОС, 2012. 216 с. 188 с.
7. Буртман В.С. Геодинамика Тибета, Тарима и Тянь-Шаня в позднем кайнозое // Геотектоника. 2012. № 3. С. 18–46.
8. Буртман В.С., Гуарий Г.З. О природе складчатых дуг Памира и Тянь-Шаня (по палеомагнитным данным) // Геотектоника. 1973. № 2. С. 62 – 67.
9. Вертикальная аккреция Земной коры. Факторы и механизмы. М.: Наука, 2002. 462 с.

10. *Вялов О.С.* О взаимоотношении Памира и Алая // Изв. Тадж. Фил. АН СССР. 1943. № 2. С. 163 – 170.
11. *Гангнус А.А., Кучай В.К.* О связи сейсמודинамических параметров с элементами четвертичной структуры (на примере Гармского района Таджикской ССР) // Геотектоника. 1976. № 3. С. 107 – 118.
12. Геология и геофизика Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1985. 378 с.
13. Геология СССР. Т. XIV Таджикская ССР. С. 1. Геологическое описание. М.: Госгеолтехиздат, 1959. 736 с.
14. Геология СССР. Т. XXV. Киргизская ССР. Москва: Недра, 1972. 316 с.
15. *Гзовский М.В., Крестников В.Н., Леонов Н.Н.* и др. Карта новейших тектонических движений Средней Азии. Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1960. № 8.
16. Геологическая граница между Памиром и Алаем. М.-Л.: Госгеолиздат, 1940. 48 с.
17. *Губин И.Е.* Геологическая граница между Памиром и Алаем. М.-Л.: Госгеолиздат, 1940. 48 с.
18. *Гусева Т.В., Лукк А.А., Певнев А.К., Сквородкин Ю.П., Шевченко В.И.* основные черты тектоники района Гармского полигона (Таджикистан) // Тектоника Тянь-Шаня и Памира. М.: Наука, 1983. С. 133–139.
19. *Дюфур М.С., Руженцев С.В., Швольман В.А.* О границе между зонами Северного и Центрального Памира // Геотектоника. 1964. № 3.
20. *Захаров С.А.* Метаморфизм как вероятный фактор складкообразования // Геотектоника. 1973. № 5. С. 35 – 49.
21. *Климова А.И.* Современная динамика зоны перехода от Памира к Тянь-Шаню (по данным моделирования) // Геология и геофизика Таджикистана. Душанбе: Изд-во «Дониш», 1985. С. 99 – 107.
22. *Клунников С.И.* Проблемы тектоники Памира // Изв. Тадж. Фил. АН СССР. 1943. № 2. С. 172 – 177.
23. *Коньгин В.Г., Леонов М.Г.* К проблеме происхождения Восточно-Алайской сигмоиды. ДАН СССР. 1985. Т. 282. № 3. С. 675–679.
24. *Коньгин В.Г., Леонов М.Г.* Тектоника Сугутского метаморфического блока (Южный Тянь-Шань) // Бюлл. МОИП. Отд. Геол. 1987. Т. 62. Вып. 6. С. 19–34.
25. *Коньгин В.Г., Леонов М.Г., Соловьев А.Ю.*
26. *Косминская И.П., Михота Г.Г., Тулина Ю.В.* Строение земной коры Памиро-Алайской зоны по данным глубинного сейсмического зондирования // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1958. № 10.
27. *Крестников В.Н.* История развития колебательных движений земной коры Памира и сопредельных частей Азии. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 180 с.
28. *Кучай В.К.* Современная геодинамика Земли и орогенез Памиро–Тянь-Шаня. М.: Наука, 1983. 208 с.
29. *Кучай В.М., Трифионов В.Г.* Молодой левый сдвиг в зоне Дарваз-Каракульского разлома // Геотектоника. 1977. № 3. С. 91 – 105.
30. *Леонов М.Г.* Тектоника консолидированной коры. М.: Наука, 2008. 468 с.
31. *Леонов Н.Н.* Тектоника и сейсмичность Памиро-Алайской зоны. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
32. *Леонов Ю.Г.* Девонский орогенез. М.: Недра, 1964 ??? С.
33. *Леонов Ю.Г., Никонов А.А.* Проблема неотектонического развития Памиро-Тянь-Шаньского горного сооружения // Геотектоника. 1988. № 6. С. 108–119.
34. *Леонов Ю.Г., Сигаичев С.П.* Тектоническая расслоенность Бартангского параавтохтона // Геотектоника. 1984. № 2. С. 68–75.
35. *Лозиев В.П.* К проблеме происхождения деформаций в чехле Южно-Таджикской депрессии (на примере Кафирниганского внтиклинория). Геотектоника. 1975. № 4. С. 54–70.

36. *Лозиев В.П.* Современная структура и типы локальных дислокаций Южно-Таджикской депрессии // Геотектоника. 1976. № 4. С. 102 – 113.
37. *Лукина Н.В.* О структурах поверхности фундамента юго-западного Гиссара // Геотектоника. 1971. № 2. С. 84 – 88.
38. *Лукина Н.В.* О деформированности поверхности палеозойского фундамента Восточного Каратегина и Западного Алая // Геотектоника. 1973. № 2. С. 68 – 71.
39. *Лукина Н.В.* Об одной особенности новейших деформаций поверхности палеозойского основания Северного Памира // Геотектоника. 1977. № 3. С. 116– 20.
40. *Лукк А.А., Шевченко В.И.* Роль локальных процессов тектогенеза в деформировании слоистых толщ Таджикской депрессии // Физика Земли. 2004. № 11. С. 5–25.
41. *Макаров В.И., Рыбин А.К. Матюков В.Е. и др.* Особенности глубинной структуры депрессионных областей Центрального Тянь-Шаня // Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Мат. Пятого Междунар. симп. Бишкек: НС РАН, 2011. С. 36 – 45.
42. *Матюков В.Е.* Магнитотеллурические и магнитовариационные наблюдения в районе Алайской долины // Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Мат. Пятого Междунар. симп. Бишкек: НС РАН, 2011. С. 51 - 53.
43. *Морозов Ю.А., Леонов М.Г., Алексеев Д.В.*
44. *Морозов Ю.А., Гептнер Т.М.* Сопоставление природных и экспериментально воспроизводимых структурных ансамблей, сформированных в условиях транспрессии и транстензии // Проблемы эволюции тектоносферы. М.: ОИФЗ, 1997. С. 219-258.
45. *Мушкетов Д.И.* О связи Тянь-Шаня с Памиро-Алаем // Материалы по общей и прикладной геологии. Вып. 10. Петроград: Геолком, 1919. 34 с.
46. *Наливкин Д.В.* Очерк геологии Туркестана. М.-Ташкент: Туркпечать, 1926. 184 с.
47. *Никонов А.А.* Молодое складкообразование в центральной части Афгано-Таджикской депрессии // Изучение современных движений земной коры на стационарных геофизических полигонах. Ашхабад, 1970.
48. *Никонов А.А.* О замечаниях С.А.Захарова к статье А.А.Никонова «Дифференциальный анализ четвертичной тектоники Афгано-Таджикской депрессии» // Геотектоника. 1973. № 5. С. 118-119.
49. *Пейве А.В., Буртман В.С., Руженцев С.В., Суворов А.И.* Тектоника Памиро-Гималайского сектора Азии // Гималайский и Альпийский орогенез. М.: Наука, 1964.
50. *Поспелов И.И., Сигачев С.П.* Формирование ретрошарьяжей Памира. Геотектоника. 1988. № 5. С. 66–78.
51. *Ренгартен В.П.* Заалайский хребет (Геологические наблюдения при пересечении Восточного Памира в 1932 г.). Тр. ТКЭ 1932 г. Вып.2. ОНТИ, 1934.
52. *Руженцев С.В.* Тектоническое развитие Восточного Памира и роль горизонтальных движений в формировании его альпийской структуры . М.: Наука, 1961. Тр. ГИН РАН. Вып. 192.
53. *Руженцев С.В.* Некоторые особенности формирования сорванных покровов // Геотектоника. 1970. № 6. С. 55–63.
54. *Руженцев С.В., Швольман В.А., Пашков Б.Р., Поспелов М.И.* Тектоническое развитие Памиро-Гималайского сектора Альпийского складчатого пояса // Тектонка Тянь-Шаня и Памира. М.: Наука, 1983. С. 167 – 175.
55. *Рыбин А.И.* Происхождение ферганских складок // Геотектоника. 1973. № 4. С. 50 – 57.
56. *Синицын В.М.* Общая схема тектоники Высокой Азии // Бюлл. МОИП. 1955. Т. XXX (2). С. 51 – 65.
57. *Синицын Н.М.* Памиро-Алайская зона // Геология СССР. Т. 25. Киргизская ССР. Ч. 1: Геологическое описание. М.: Госгеолтехиздат, 1954. С 675 – 690.

58. *Синицын Н.М., Синицын В.М.* Тянь-Шань. Главнейшие элементы тектоники // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1958. № 4. С. 3–17.
59. *Скобелев С.Ф., Флоренский П.В.* Голоценовые тектонические деформации и оползни в Вахшской надвиговой зоне // Геотектоника. 1974. № 5. С. 104 -107.
60. *Скобелев С.Ф.* Горизонтальное сжатие и развитие складок на хребте Петра I // Геотектоника. 1977. № 2. С. 105 – 119.
61. *Трифонов В.Г.* Позднечетвертичный тектогенез. М.: Наука, 1983. 224 с. (Тр. ГИН РАН).
62. *Трубицин В.П., Бобров А.М.* Эволюция структуры мантийной конвекции после раскола суперконтинента // Физика Земли. 1993. № 9. С. 27-37.
63. *Трубицин В.П., Рыков В.В., Трубицин А.П.* Конвекция и распределение вязкости в мантии // Физика Земли. 1997. № 3. С. 3-10.
64. *Умурзаков Р.А.* О реконструкции палеотектонических напряжений отдельных этапов альпийской истории Западного Тянь-Шаня // Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Мат. Пятого Междунар. симп. Бишкек: НС РАН, 2011. С. 127 – 133.
65. *Уломов В.И.* Сейсмичность, горизонтальные и вращательные движения земной коры Памира, Тянь-Шаня и Туранской плиты. С. 58 – 64.
66. *Уфимцев Г.Ф., Корженков А.М., Мамыров Э.М.* Очерки рельефа и морфотектоники Тянь-Шаня. Новосибирск: ГЕО, 2009. 130 с.
67. *Beaumont C. Jemiesont R.A., Nguyen M.H., and Lee B.* Yimiayan tectonics explained by extrusion of a low-viscosity crustal channel coupled to infocusel surface denudation // Nature. 2001. № 414/ P. 738-742.
68. *Brunel M., Arnaud N., Tapponier P., Pan Y., Wang Y.* Kongur Shan normal fault: Type example of mountain building assisted by extension (Karakorum fault, eastern Pamir) // Geology. 1994. Vol. 22. P. 707–710.
69. *Coutand I., Strecker M.R., Arrowsmith J.R. et al.* Cenozoic tectonic development of the intramontane Alai Valley (Pamir – Tien-Shan region, central Asia): an example of intracontinental deformation due to the Indo-Eurasia collision // Tectonics. 2002/ Vol. 21. No 6 (1053). P. 417–420.
70. *Hamburger M.W., Sarewitz D.R., Pavlis T.L., Popandopulo G.A.* Structural and seismic evidence for intracontinental subduction in the First Range, Central Asia // Geol. Soc. Amer. Bull. 1992. Vol. 104. P. 397–408.
71. *Jackson M.P.A., Talbot C.J.* Anatomy of mushroom-shaped diapirs // Journ. Str. Geol. 1989. Vol. 11. № 1/2. P. 211-230.
72. *Martinod J., Hatzfeld D., Brun J et all.* Continental collision, gravity spreading, and kinematics of Atgea and Ananolia. Tectonics. 2000. Vol. 19. № 2. P. 290-299.
73. *Taboada A., Rivera L.A., Fuenzalida A. et al.* Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia) // Tectonics. 2000. Vol. 19. № 5. P. 787-813.

Список используемой литературы (для пункта 3.9.3 отчета)

1. *Леонов М.Г.* Внутриплитные зоны концентрированной деформации: тектоническая структура и особенности эволюции // Геотектоника. 2012. №6. С. 3-26.
2. *Мансуров А.Н.* Структурное проектирование автоматизированной системы расчета поля скорости деформации земной коры по данным GPS наблюдений. // Проблемы автоматизации и управления. Бишкек. 2012 г. №2. С. 120-127
3. *Мансуров А.Н.* Математическая модель и методика расчета поля скорости деформации земной коры по данным GPS наблюдений. // Проблемы автоматизации и управления. Бишкек, 2012 г. №2. С. 57-63.
4. *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. Москва, ИФЗ РАН, 14-18 октября 2013 г. Т. 1. С. 205-211. http://tph_2013.ifz.ru/Vol_1.pdf

5. Рыбин А.К., Костюк А.Д. О связи поля современных деформаций и глубинной структуры электропроводности Центрального Тянь-Шаня по данным GPS и МТЗ // Вестник ВГУ, Серия Геология, 2008, №2, с.165-175.

6. Bogomolov L, Bragin V., Fridman A., Makarov V., Sobolev G., Polyachenko E., Schelochkov G., Zeigarnik V., Zubovich A. Comparative analysis of GPS, seismic and electromagnetic data on the Central Tien Shan Territory // Tectonophysics. 2007. Vol. 431. P. 143-151.

7. Ischuk Anatoli, Rebecca Bendick, Anatoly Rybin, Peter Molnar, Shah Faisal Khan, Sergey Kuzikov, Solmaz Mohadjer, Umed Saydullaev, Zhyra Ilyasova, Gennady Schelochkov, and Alexander V. Zubovich Kinematics of the Pamir and Hindu Kush regions from GPS geodesy // JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: SOLID EARTH, 2013, VOL. 118, 1-9, doi:10.1002/jgrb.50185, 2013.