

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК В Г. БИШКЕКЕ**

УДК 004.414.2+004.414.3

№ госрегистрации 0155-2015-0002

Инв. № 6/16

УТВЕРЖДАЮ

Директор НС РАН в г. Бишкеке
д-р физ.-мат. наук


_____ А. К. Рыбин
«20» декабря 2016 г.



ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**ПОСТКОЛЛИЗИОННЫЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ АНСАМБЛИ СДВИГОВОГО
ТЕЧЕНИЯ ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОРОГЕНОВ: СТРУКТУРА, ГЛУБИННОЕ
СТРОЕНИЕ, ГЕОДИНАМИКА (НА ПРИМЕРЕ ПАМИРО-ТЯНЬШАНСКОГО СЕГМЕНТА
ЕВРАЗИЙСКОГО ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНОГО ОРОГЕНА)**

(годовой за 2016 г.)

**Программа фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН IV.8.
«Комплексные исследования по актуальным проблемам наук о Земле»
Раздел 6 «Деформации литосферы: структурные и кинематические аспекты, механизмы,
модели»**

Раздел 9 «Науки о Земле»:
Подраздел 128 «Физические поля, внутреннее строение Земли
и глубинные геодинамические процессы»

Руководитель темы
директор НС РАН,
д-р физ.-мат. наук

А.К. Рыбин

Бишкек 2016

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Заведующий лабораторией
тектоники консолидированной
коры Геологического института
РАН (ГИН РАН),

д-р геол.-мин. наук

Старший научный сотрудник
лаборатории тектоники

консолидированной коры ГИН
РАН,

канд. геол.-мин. наук

И.о. научного сотрудника

лаборатории глубинных

магнитотеллурических

исследований ИС РАН,

канд. физ.-мат. наук

М.Г. Леонов
(главы 1, 2)

Е.С. Пржиялговский
(главы 1, 2)

В.Е. Матюков
(глава 3)

Отчет утвержден на заседании Ученого совета ИС РАН (Протокол № 7 от 20 декабря 2016 г.)

Ученый секретарь ИС РАН



О.Б. Забиякова

СОДЕРЖАНИЕ

Реферат.....	4
Введение.....	5
1 Обобщение литературных и картографических данных по структуре, эволюции и геодинамике Памиро-Алайского региона и зоны их сочленения (Алайская и Афгано-Таджикская депрессии).	6
Приложение 1. Список проработанной литературы	9
2 Проявление вертикально- и горизонтально-плоскостной сдвиговой деформации на примере ключевых объектов исследования.....	14
2.1 Сугутский метаморфический блок.....	14
2.2 Нуратау-Курганакская зона	16
3 Построение глубинных геоэлектрических разрезов исследуемых ключевых объектов по результатам профильных магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований.....	20
3.1 Профиль «TIPAGE-ALAI»	20
3.2 Профили «Дараут-Курган» и «Нура»	22
3.3 Сопоставление характеристик полученных геофизических образов земной коры и пространственного распределения сейсмичности для исследуемой территории	24
Заключение.....	25
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	27

Реферат

Отчет содержит 27 страниц, 10 рисунков и список использованных источников, включающий 7 наименований.

ПОСТКОЛЛИЗИОННЫЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ АНСАМБЛИ СДВИГОВОГО ТЕЧЕНИЯ ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОРОГЕНОВ: СТРУКТУРА, ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ, ГЕОДИНАМИКА (НА ПРИМЕРЕ ПАМИРО-ТЯНЬШАНСКОГО СЕГМЕНТА ЕВРАЗИЙСКОГО ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНОГО ОРОГЕНА)

Целью проводимых исследований является изучение одного из проявлений внутриплитной тектоники современных орогенических областей, связанного с деформацией объемного сдвигового течения, на примере Памиро-Тяньшанского региона.

Основные задачи – (1) оценка места и роли объемного тектонического течения в поздней и постколлизивной тектонике внутриконтинентальных орогенов, и (2) выявление постколлизивных типоморфных тектонических ансамблей сдвигового течения, которые знаменуют собой завершающий этап формирования современной тектонической структуры континентов.

В отчете изложены научные результаты, полученные в ходе выполнения исследований по проекту в 2016 году:

1. Обобщение литературных и картографических данных по структуре, эволюции и геодинамике Памиро-Алайского региона и зоны их сочленения (Алайская и Афгано-Таджикская депрессии).
2. Выявление и описание на примере ключевых объектов исследования морфоструктурных и тектонических ансамблей Памиро-Тяньшанского региона, отражающих проявление вертикально- и горизонтально-плоскостной сдвиговой деформации и ее роль в формировании современной структуры региона.
3. Построение глубинных геоэлектрических разрезов исследуемых ключевых объектов Памиро-Алайском региона по результатам профильных магнитотеллурических зондирований. Сопоставление характеристик полученных геофизических образов земной коры и пространственного распределения сейсмичности для исследуемой территории.

Перечень ключевых слов: метод магнитотеллурического зондирования, глубинное строение литосферы, электропроводность, сейсмический режим, мониторинг, земная кора, деформация.

Введение

Проведены сбор и обобщение литературных и картографических данных по структуре, эволюции и геодинамике Памиро-Гиссаро-Алайского региона и зоны их сочленения (Алайская и Афгано-Таджикская депрессии). Создана фактологическая база и проведена оценка теоретических представлений относительно особенностей строения и геодинамики региона. Список проработанной литературы включает 92 наименования.

В результате выявлено несколько ключевых объектов, отражающих роль вертикально- и горизонтально-плоскостной сдвиговой деформации в формировании современной структуры Гиссаро-Алайского региона. В качестве таких ключевых объектов подробно рассматриваются Сугутский метаморфический блок Восточно-Алайского хребта и Нуратау-Курганакская зона, являющаяся областью сочленения Зеравано-Туркестанской и Туркестано-Алайской зон Южного Тянь-Шаня

С точки зрения изучения глубинного строения литосферы Памиро-Гиссаро-Алайского региона построены и анализируются геоэлектрические разрезы по профилям «TIPAGE-ALAI», «Нура» и «Дараут-Курган». Также проведена оценка пространственной корреляции положения гипоцентров землетрясений, произошедших на территории Памиро-Алая, с особенностями геоэлектрической структуры земной коры этого района.

1 Обобщение литературных и картографических данных по структуре, эволюции и геодинамике Памиро-Алайского региона и зоны их сочленения (Алайская и Афгано-Таджикская депрессии).

Анализ литературных и личных данных по геологии зоны сочленения Памира и Гиссаро-Алая, в том числе полученных в процессе полевых исследований 2015 г., позволяет сделать следующие основные выводы.

Особенности структуры региона, кинематика движения горных масс, характер взаимоотношений со структурами Алая и Северного Памира, распределение гипоцентров землетрясений, а также то, что описанные структуры сформировались на единой к началу мезозоя консолидированной коре, позволяют предположить, что формирование современной структуры зоны сочленения Памира и Гиссаро-Алая связано с тектоническими движениями, происходящими дисгармонично на разных уровнях коры.

Верхний ярус соответствует пластичному чехлу постгерцинского осадочного бассейна, сорванному с палеозойского основания, смятому в складки и пассивно перемещенному в северном и западном направлениях. Перемещение сопровождалось дисгармоничным удлинением пластов осадочных пород по отношению к домезозойской поверхности выравнивания. Нижний ярус представлен горными массами герцинской консолидированной коры, верхняя поверхность которой формирует пологие сопряженные антиформные и синформные структуры при весьма скромной величине поперечного сокращения пространства.

Основные характеристики геологического строения области: распределение фациальных типов отложений и их мощностей; конседиментационный характер складчатости чехольных отложений; наличие структурной дисгармонии на разделе «фундамент/чехол» и внутри чехольных комплексов; чередование сжатых антиклиналей и разделяющих их пологих синклиналей; тяготение наиболее напряженных структур к центральным частям депрессии и их упрощение на предгорных ступенях; общая структура объемного сдвига («конский хвост»); наличие продольных сдвигов и сдвиговое ограничение депрессии в целом; выведение территории депрессии на, хотя и меньшие, чем обрамляющие поднятия Памира и Тянь-Шаня, но все же весьма значительные высоты; расположение депрессии над выступом разогретой мантии) в совокупности указывают на то, что породные массы депрессии не испытали существенного субмеридионального сжатия со стороны обрамляющих поднятий. Следовательно, они не могли служить проводником тектонических сил и напряжений извне как с севера, со стороны Южного Тянь-Шаня, так и с юга, со стороны Памира.

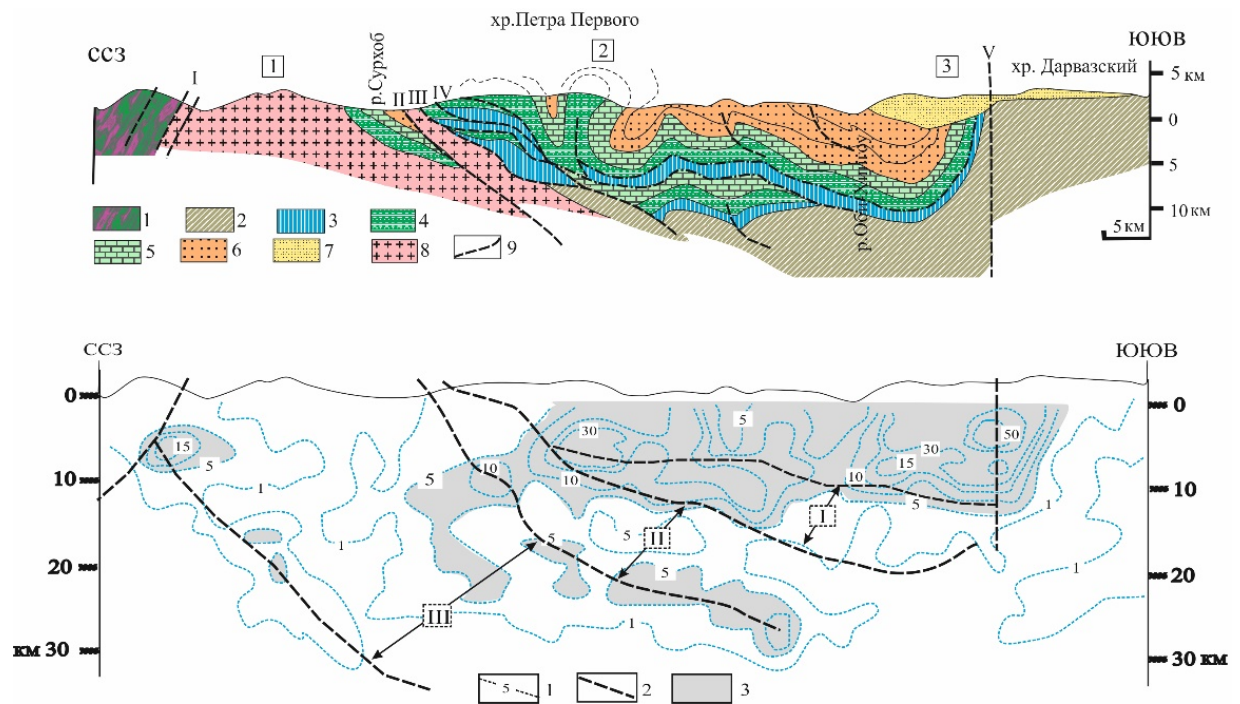


Рисунок 1.1 – Строение западной части Алайской депрессии и хр. Петра Первого.

Вверху: геологический профиль (составлен на основе: [Гусева и др., 1983; Лукк, Шевченко, 2004] с учетом данных [Скобелев, 1977; Coutand et al., 2002]).

1 – ягнобские сланцы (ордовик–нижний силур?); 2 –отложения силура–перми; 3–7 – горизонты мезозойско-кайнозойского разреза; 8 – палеозойские гранитоиды; 9 – главные разрывы: I – Даштихирсунский; II – зона Вахшского надвига; III – Дрваз-Каракульский взброс. Буквенные обозначения: ХК – Хабуд-Крымское поднятие; Т –Тавильдаринская впадина

Внизу: плотность распределения гипоцентров землетрясений с К более 6. (по: [Гусева и др., 1983], схематизировано). 1 – изолинии числа гипоцентров на единицу объема; 2 – предполагаемые разломы 3 – основные сгущения гипоцентров с числом более 5.

В – структура восточной части Таджикской впадины (по С.Ф.Скобелеву).

1 – фундамент; 2 – нижняя-средняя юра; 3 – верхняя юра (соленосная формация); 4 – мел–палеоген; 5 – неоген; 6 – линии напластования; 7 – разломы

Сдвиговая деформация в пределах зоны сочленения Памира и Гиссаро-Алая проявлена совершенно определенно, но распределение ее своеобразно. В пределах Внешней зоны Северного Памира она проявлена в виде продольных взбросо-сдвигов с преимущественным движением масс в северо-западных румбах – на западном фланге и северо-восточных румбах – на восточном. Т.е сдвиговая деформация свидетельствует о бивергентном «растекании» Памирских масс.. Основная сдвиговая деформация в области сочленения Памира и Гиссаро-Алая сосредоточена по северному борту Алайской долины и приурочена к системе взбросо-сдвигов зоны Вахшского разлома. В Пределах Алайской долины развиты преимущественно взбросо-надвиги с западной вергенцией движения горных масс, которые свидетельствуют о гравитационном оползании пород.

Важным является также факт, на который вплоть до настоящего времени исследователи не обращали внимания. Дело в том, что фундамент собственно Алайской долины сложен мощными толщами зеленых сланцев Ягнобско-Восточно-Алайской зоны Южного Тянь-Шаня. Эта зона

обладает двумя особенностями. Первая: в генеральном плане метаморфические сланцы слагают, хотя местами и сильно пережатую, синформную структуру, что мы наблюдаем к западу и к востоку от Алайской долины в районах Ягнобско-Фанских гор и Сугутского блока. Вторая: в пределах зоны развито *объемное сдвиговое течение*, которое определяется растеканием горных масс в поперечном направлении по отношению к простиранию Тянь-Шанских структур и продольным течением пород с нагнетанием их в восточном направлении. Причем, деформация *объемного сдвигового течения пород фундамента фиксируется и на новейшем этапе*.

Эти особенности строения фундамента зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня, по-видимому, определяют место заложения Алайской долины и объясняют некоторые особенности кайнозойского тектогенеза, в частности, формирование впадин типа пулл-апарт (например, Гульчинской), которые являются ответвлениями Алайской структуры.

Заканчивая раздел, нужно подчеркнуть, что проблема тектонического сдвигового течения в регионе чрезвычайно многоплановая, и ее решение еще далеко от удовлетворительного, так как регион чрезвычайно сложен для изучения и требует значительных финансовых затрат.

Приложение 1. Список проработанной литературы

- 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 Балакина Л.М. Тектоника и механизм землетрясений Заалайского хребта // Тектоника Тянь-Шаня и Памира. М.: Наука, 1983. С. 24–39.
- 4 Белеловский М.Л., Седлецкий В.И., Коробка В.С. О соляной тектонике мегаантиклинали юго-западного Гиссара и Афгано-Таджикской впадины // Геотектоника. 1971. № 2. С. 102 – 114.
- 5 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.
- 6 Буданов В.И., Пашков Б.Р. Тектонические покровы коллизионного орогена (на примере геологических комплексов южного склона Музкольского хребта, Центральный Памир) // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 11. С. 1511–1527.
- 7 Буртман В.С. Тянь-Шань и Высокая Азия. Тектоника и геодинамика в палеозое. М.: ГЕОС, 2006. 216 с.
- 8 Буртман В.С. Тянь-Шань и Высокая Азия. Геодинамика в кайнозое. М.: ГЕОС, 2012. 216 с. 188 с.
- 9 Буртман В.С. Геодинамика Тибета, Тарима и Тянь-Шаня в позднем кайнозое // Геотектоника. 2012. № 3. С. 18–46.
- 10 Буртман В.С., Гурарий Г.З. О природе складчатых дуг Памира и Тянь-Шаня (по палеомагнитным данным) // Геотектоника. 1973. № 2. С. 62 – 67.
- 11 Вертикальная аккреция Земной коры. Факторы и механизмы. М.: Наука, 2002. 462 с.
- 12 Власов Н.Г. Схема тектоники Памиро-Гималайского сектора Азии // Вопросы стратиграфии палеозоя. 1969. Ленинград: Изд-во ЛГУ. С. (Ссылка в работе Лозиева)
- 13 Вялов О.С. О взаимоотношении Памира и Алая // Изв. Тадж. Фил. АН СССР. 1943. № 2. С. 163 – 170.
- 14 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.
- 15 Геология и геофизика Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1985. 378 с. Геология СССР. Т. XIV Таджикская ССР. С. 1. Геологическое описание. М.: Госгеолтехиздат, 1959. 736 с.
- 16 Геология СССР. Т. XXV. Киргизская ССР. Москва: Недра, 1972. 316 с.
- 17 Гзовский М.В., Кресиников В.Н., Леонов Н.Н. и др. Карта новейших тектонических движений Средней Азии. Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1960. № 8.
- 18 Геологическая граница между Памиром и Алаем. М.-Л.: Госгеолиздат, 1940. 48 с.
- 19 Егупов С.В. Триасовые отложения юго-восточной периферии Туранской плиты и ее горного обрамления // Тектоника Туркмении и сопредельных территорий. М.: Недра, 1969. С. (Ссылка в работе Лозиева)
- 20 Копп М.Л. Структуры латерального выжимания в Альпийско-Гималайском коллизионном поясе. М.: Научный Мир, 1997. 313 с.
- 21 Губин И.Е. Геологическая граница между Памиром и Алаем. М.-Л.: Госгеолиздат, 1940. 48 с.
- 22 Губин И.Е. Сейсмотектоника и сейсморайонирование // Тектоника Тянь-Шаня и Памира. М.: Наука, 1983. С. 9–24.
- 23 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.
- 24 Дюфур М.С., Руженцев С.В., Швольман В.А. О границе между зонами Северного и Центрального Памира // Геотектоника. 1964. № 3.

- 25 Захаров С.А. Метаморфизм как вероятный фактор складкообразования // Геотектоника. 1973. № 5. С. 35 – 49.
- 26 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.
- 27 Климова А.И., Климов Г.К. Бескорневые неотектонические структуры в горно-складчатых областях и на платформах // Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения. Мат. XII Междунар. конф. Т.1. Воронеж: ВГУ, 2006. С. 246–250.
- 28 Клунников С.И. Проблемы тектоники Памира // Изв. Тадж. Фил. АН СССР. 1943. № 2. С. 172 – 177.
- 29 Коныгин В.Г., Леонов М.Г. К проблеме происхождения Восточно-Алайской сигмоиды. ДАН СССР. 1985. Т. 282. № 3. С.675-679.
- 30 Коныгин В.Г., Леонов М.Г. Тектоника Сугутского метаморфического блока (Южный Тянь-Шань) // Бюлл. МОИП. Отд. Геол. 1987. Т. 62. Вып. 6. С. 19-34.
- 31 Коныгин В.Г., Леонов М.Г., Соловьев А.Ю.
- 32 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.
- 33 Крестников В.Н. История развития колебательных движений земной коры Памира и сопредельных частей Азии. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 180 с.
- 34 Кулаков В.В., Колчанов В.П., Михайлов К.Я. О стратиграфии триасовых отложений Северо-Западного Афганистана // Изв. вузов. 1969. Геол. и разведка. № 7. С. (Ссылка в работе Лозиева)
- 35 Кучай В.К. Современная геодинамика Земли и орогенез Памиро–Тянь-Шаня. М.: Наука, 1983. 208 с.
- 36 Кучай В.М., Трифионов В.Г. Молодой левый сдвиг в зоне Дарваз-Каракульского разлома // Геотектоника. 1977. № 3. С. 91 – 105.
- 37 Леонов М.Г. Тектоника консолидированной коры. М.: Наука, 2008. 468 с.
- 38 Леонов Н.Н. Тектоника и сейсмичность Памиро-Алайской зоны. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
- 39 Леонов Ю.Г. Девонский орогенез. М.: Недра, 1964 ??? С.
- 40 Леонов Ю.Г., Никонов А.А. Проблема неотектонического развития Памиро-Тянь-Шаньского горного сооружения // Геотектоника. 1988. № 6. С. 108–119.
- 41 Леонов Ю.Г., Сигачев С.П. Тектоническая расслоенность Бартангского параавтохтона // Геотектоника. 1984. № 2. С. 68–75.
- 42 Лозиев В.П. К проблеме происхождения деформаций в чехле Южно-Таджикской депрессии (на примере Кафирниганского внтиклинория). Геотектоника. 1975. № 4. С. 54–70.
- 43 Лозиев В.П. Современная структура и типы локальных дислокаций Южно-Таджикской депрессии // Геотектоника. 1976. № 4. С. 102 – 113.
- 44 Лукина Н.В. О структурах поверхности фундамента юго-западного Гиссара // Геотектоника. 1971. №. 2. С. 84 – 88.
- 45 Лукина Н.В. О деформированности поверхности палеозойского фундамента Восточного Каратегина и Западного Алая // Геотектоника. 1973. №. 2. С. 68 – 71.
- 46 Лукина Н.В. Об одной особенности новейших деформаций поверхности палеозойского основания Северного Памира // Геотектоника. 1977. № 3. С. 116– 20.
- 47 Лукк А.А., Шевченко В.И. Роль локальных процессов тектогенеза в деформировании слоистых толщ Таджикской депрессии // Физика Земли. 2004. № 11. С. 5–25.
- 48 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.
- 49 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.
- 50 Матюков В.Е. Геолого-геофизическая изученность зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня (обзор).
- 51 Меламед Я.Р. Основные закономерности геологического и палеогеографического развития Таджикской депрессии в неогеновом периоде // Вопросы геологического строения и перспективы нефтегазности Таджикистана. Вып. 1. Душанбе: Ирфон, 1965. С. (Ссылка в работе Лозиева)
- 52 Миллер Ю.В., Седова И.С., Другова Г.М. О тектоно-метаморфических циклах докембрийских комплексов Юго-западного Памира // Геотектоника. 1977. № 2. С. 53–65.
- 53 Морозов Ю.А., Леонов М.Г., Алексеев Д.В.
- 54 Морозов Ю.А., Гептнер Т.М. Сопоставление природных и экспериментально воспроизводимых структурных ансамблей, сформированных в условиях транспрессии и транстенсии // Проблемы эволюции тектоносферы. М.: ОИФЗ, 1997. С. 219-258.
- 55 Мушкетов Д.И. О связи Тянь-Шаня с Памиро-Алаем // Материалы по общей и прикладной геологии. Вы. 10. Петроград: Геолком, 1919. 34 с.
- 56 Наливкин Д.В. Очерк геологии Туркестана. М.-Ташкент: Туркпечать, 1926. 184 с.
- 57 Никонов А.А. Молодое складкообразование в центральной части Афгано-Таджикской депрессии // Изучение современных движений земной коры на стационарных геофизических полигонах. Ашхабад, 1970.
- 58 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.
- 59 Пашков Б.Р., Буданов В.И. Метаморфические толщи палеозоя и триаса Центрального Памира // ? Сер. геол. № 12. 1990. С. 30–39.
- 60 Пашков Б.Р., Швольман В.А. Рифтогенные окраины Тетиса на Памире // Геотектоника. 1979. № 6. С. 42–57.
- 61 Пейве А.В., Буртман В.С., Руженцев С.В., Суворов А.И. Тектоника Памиро-Гималайского сектора Азии // Гималайский и Альпийский орогенез. М.: Наука, 1964.
- 62 Поспелов И.И., Сигачев С.П. Формирование ретрошарьяжей Памира. Геотектоника. 1988. № 5. С. 66–78.
- 63 Ренгартен В.П. Заалайский хребет (Геологические наблюдения при пересечении Восточного Памира в 1932 г.). Тр. ТКЭ 1932 г. Вып.2. ОНТИ, 1934.
- 64 Руженцев С.В. Тектоническое развитие Восточного Памира и роль горизонтальных движений в формировании его альпийской структуры . М.: Наука, 1961. С. (Тр. ГИН РАН. Вып. 192).
- 65 Руженцев С.В. Некоторые особенности формирования сорванных покровов // Геотектоника. 1970. № 6. С. 55–63.
- 66 Руженцев С.В., Швольман В.А., Пашков Б.Р., Поспелов М.И. Тектоническое развитие Памиро-Гималайского сектора Альпийского складчатого пояса // Тектоника Тянь-Шаня и Памира. М.: Наука, 1983. С. 167 – 175.
- 67 Рыбин А.И. Происхождение ферганских складок // Геотектоника. 1973. № 4. С. 50 – 57.
- 68 Сигачев С.П. К проблеме возраста основных складкообразовательных движений в Центральном Памире // Геотектоника. 1990. № 1. С. 104 – 106.

- 69 Сеницын В.М. Общая схема тектоники Высокой Азии // Бюлл. МОИП. 1955. Т. XXX (2). С. 51 – 65.
- 70 Сеницын Н.М. Памиро-Алайская зона // Геология СССР. Т. 25. Киргизская ССР. Ч. 1: Геологическое описание. М.: Госгеолтехиздат, 1954. С 675 – 690.
- 71 Сеницын Н.М., Сеницын В.М. Тянь-Шань. Главнейшие элементы тектоники // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1958. № 4. С. 3–17.
- 72 Скобелев С.Ф., Флоренский П.В. Голоценовые тектонические деформации и оползни в Вахшской надвиговой зоне // Геотектоника. 1974. № 5. С. 104 -107.
- 73 Скобелев С.Ф. Горизонтальное сжатие и развитие складок на хребте Петра I // Геотектоника. 1977. № 2. С. 105 – 119.
- 74 Таль-Вирский Б.Б. Некоторые закономерности тектонического развития эпиплатформенной орогенической области Западного Тянь-Шаня // Материалы 2-го Всесоюзн. Тектонического совещ. М.: Наука, 1964. С. (Ссылка в работе Лозиева)
- 75 Трифонов В.Г. Позднечетвертичный тектогенез. М.: Наука, 1983. 224 с. (Тр. ГИН РАН).
- 76 Трубицин В.П., Бобров А.М. Эволюция структуры мантийной конвекции после раскола суперконтинента // Физика Земли. 1993. № 9. С. 27-37.
- 77 Трубицин В.П., Рыков В.В., Трубицин А.П. Конвекция и распределение вязкости в мантии // Физика Земли. 1997. № 3. С. 3-10.
- 78 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: ИС РАН, 2011. С. 127– 33.
- 79 Уломов В.И. Сейсмичность, горизонтальные и вращательные движения земной коры Памира, Тянь-Шаня и Туранской плиты. С. 58–64.
- 80 Уфимцев Г.Ф., Корженков А.М., Мамыров Э.М. Очерки рельефа и морфотектоники Тянь-Шаня. Новосибирск: ГЕО, 2009. 130 с. (реферат в материалах по Тянь-Шаню)
- 81 Хорева Б.Я., Искандерова А.Д., Шергина Ю.П. Возраст субстрата метаморфических серий Юго-Западного Памира по данным свинцово-изохронного метода // Изв. АН СССР. 1971. Сер. геол. № 8. С. (Ссылка в статье Миллера и др., 1977)
- 82 Чедия О.К. Особенности новейшего развития структурных форм Таджикистана // Новейший этап геологического развития территории Таджикистана. Душанбе: Полиграфкомбинат, 1962. С. (Ссылка в статье Лозиева)
- 83 Щерба И.Г. Отражение фаз альпийского тектогенеза в мезозойско-кайнозойских толщах Южного Тянь-Шаня // Геотектоника. 1990. № 2. С. 42–83.
- 84 Beaumont C. Jemiesont R.A., Nguyen M.H., and Lee B. Yimiayan tectonics explained by extrusion of a low-viscosity crustal channel coupled to focused surface denudation // Nature. 2001. № 414/ P. 738-742.
- 85 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.
- 86 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-Eurasian collision // Tectonics. 2002/ Vol. 21. No 6 (1053). P. 417–420.
- 87 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.
- 88 Jackson M.P.A., Talbot C.J. Anatomy of mushroom-shaped diapirs // Journ. Str. Geol. 1989. Vol. 11. № 1/2. P. 211-230.
- 89 Martinod J., Hatzfeld D., Brun J et al. Continental collision, gravity spreading, and kinematics of Arabia and Ananolia. Tectonics. 2000. Vol. 19. № 2. P. 290-299.

- 90 Mechie J.; Yuan X.; Schurr B.; Schneider F.; Sippl C.; Ratschbacher L.; Minaev V.; Gadoev M.; Oimahmadov I.; Abdybachaev U.; Moldobekov B.; Orunbaev S.; Negmatullaev S. 2012: Crustal and uppermost mantle velocity structure along a profile across the Pamir and southern Tien Shan as derived from project TIPAGE wide-angle seismic data. *Geophysical Journal International*. 2012. 188. 2. P. 385-407.
- 91 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.

2 Проявление вертикально- и горизонтально-плоскостной сдвиговой деформации на примере ключевых объектов исследования

2.1 Сугутский метаморфический блок

Сугутский массив образует ядро Терекдаванской синформы, которая соответствует центральной части Восточно-Алайской сигмоиды – крупного структурного изгиба Алайского хребта (рисунок 2.1, пункт 2).

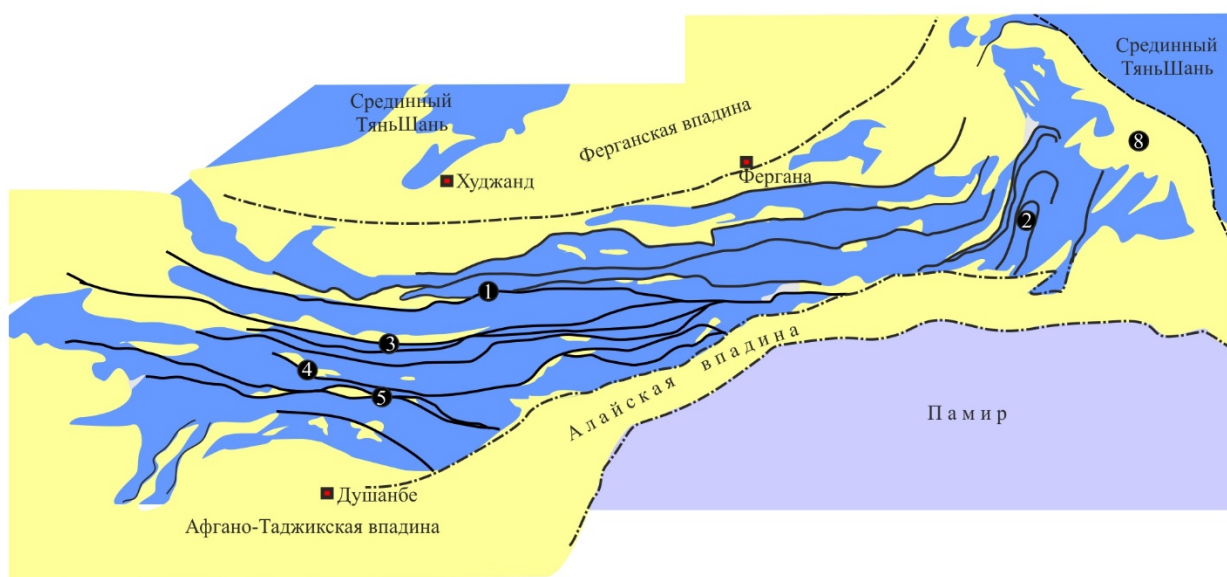


Рисунок 2.1 – Главные зоны концентрированной деформации Гиссаро-Алайской горной области и приуроченные к ним внутригорные впадины. Номера в кружках: 1 – Нуратау-Курганакская; 2 – Сугутский блок; 3 – Зеравшанская; 4 – Раватская; 5 – Каракуль-Зидинская.

Ось синформы имеет ССВ-ЮЮЗ простирание, шарнир испытывает воздымание в ССВ направлении. Синформа сложена разнофациальными разрезами палеозоя, разделенными продольными разломами. Центральная часть синформы – собственно Сугутский массив – выполнена мощной толщей метавулканитов и метаосадочных пород, превращенных в большем своем объеме в кварц-серицит-хлоритовые, хлорит-актинолитовые и другие разновидности зеленых сланцев.

Породы Сугутского массива (рисунок 2.2) образуют чешуйчато-покровную синформу, сформированную набором тектонических чешуй, образованных в результате тектонического расслоения, возникшего в процессе неоднородной деформационно-вещественной перестройки и пластического течения горных масс.

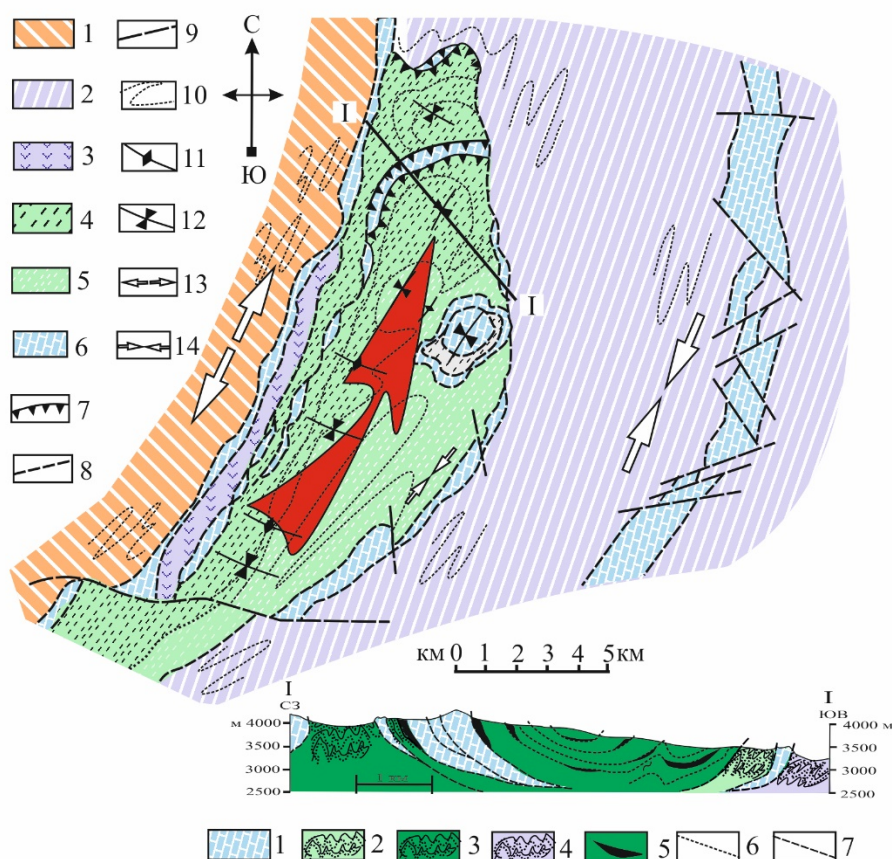


Рисунок 2.2 – Схема тектонического строения Сугутского блока (Восточный Алай) (составлена на основе данных: [Коньгин и др., 1987; Леонов М., 2008; Соловьев, 1986] в редакции авторов отчета).

Условные обозначения к схеме. 1–6 – типы разрезов палеозоя: 1 – терригенный (силур–верхний карбон), 2 – терригенный (верхний силур–нижний карбон), 3 – вулканогенный (нижний силур–девон), 4 – терригенно-вулканогенный, в большей части метаморфизованный в фации зеленых сланцев (силур–девон), 5 – терригенный, частично метаморфизованный в фации зеленых сланцев (силур–девон), 6 – карбонатный (силур–?); 7–10 – структурные линии: 7 – надвиги, 8 – взбросо-сдвиги, 9 – сдвиги, 10 – внутриформационные структурные линии; 11–12 – оси крупных складок, главным образом, поперечных: 11 – антиклиналей, 12 – синклиналей; 13–14 – области распределения напряжений: 13 – растяжения, 14 – сжатия. I–I' – линия профиля.

Условные обозначения к профилю. 1–4 – типы разрезов: 1 – терригенно-вулканогенный, частично метаморфизованный в фации зеленых сланцев, 2 – терригенный, 3 – карбонатный, 4 – терригенно-вулканогенный, в большей части метаморфизованный в фации зеленых сланцев, с реликтами вулканических пород основного состава и брекчированными серпентинитами; 5 – разрывы; 6 – субпластовые зоны повышенного рассланцевания и метаморфизма.

Результаты структурно-кинематических исследований и полуколичественная оценка величины деформации горных пород привели к ряду важных в контексте данной проблемы наблюдений и выводов.

- Морфология и внутренняя структура свидетельствует о растяжении в направлении главной оси синклинория на западном, северном и северо-восточном обрамления метаморфического ядра и о сжатии – на юго-восточном.

- Движение вещества шло вдоль осевой зоны Терекдаванского синклинория. Проскальзывание отдельных пластин по плоскостям внутриформационных срывов в продольном направлении свидетельствует о нагнетании материала с юга на север.

- Пластическое течение горных масс привело к горизонтальному расслоению первоначально единого разреза и формированию тектонических чешуй, надвигов и зон пластического течения

- Деформация осуществлялась, по крайней мере, в двух планах: при вертикальном стрессе и в процессе пластического нагнетания вещества с юга на север по направлению общего простиранья структуры. На начальных этапах преобладал вертикальный стресс, вызванный, вероятно, весом вулканических построек и приведший в условиях соответствующих давлений и температур к образованию толщ метаморфических сланцев зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций метаморфизма

- На заключительных этапах палеозойского развития Южного Тянь-Шаня в условиях теперь уже меридионального сжатия происходят пластическое перераспределение горных масс и их нагнетание в восточном направлении.

- Массы пластичных пород, имея на востоке жесткий упор в виде древнего Сулутерекского кристаллического массива и Таримского массива в целом, вынуждены были деформироваться, образуя постепенно крупную горизонтальную складку. Таким образом, изгиб Восточно-Алайской сигмоиды – это компенсация горизонтального перераспределения горных масс, связанного с их объемным пластическим течением, а метаморфическое ядро Сугутского является ядром Восточно-Алайской горизонтальной протрузии.

2.2 Нуратау-Курганакская зона

Нуратау-Курганакская тектоническая зона (рисунок 2.1, рисунки 2.3 и 2.4) протягивается в субширотном направлении от района гор Южные Нуратау на западе до Восточно-Алайского хребта на востоке. Протяженность зоны более 400 км, средняя ширина 12-15 км. Зона представляет собой линейную структуру, резко обособленную как в палеотектоническом, так и в современном структурном плане региона. Нуратау-Курганакская зона с лудловского времени и до середины карбона являлась приподнятым над общим уровнем морского дна участком типа карбонатной платформы [Коньгин и др., 1988]. В среднем карбоне в условиях поперечного сжатия в теле платформы и в ее краевых частях формировались надвиги, тектонические чешуи и покровы [Колодяжный и др., 1991; Коньгин и др., 1988]. Второй этап деформаций наступил после того, как в пределах зоны была исчерпана возможность сокращения пространства в результате образования складчато-надвиговой структуры. Складки превратились в изоклинальные с осевыми плоскостями, близкими к вертикальным, плоскости сместителей надвигов также приняли

субвертикальное положение. С этого момента преобладают сдвиговые перемещения и продольное хрупко-пластическое течение горных масс. В период новейшей активизации хрупко-пластическое течение возобновляется, и зона снова обособляется в морфологическом и структурном плане. Область тектонического течения в принципе наследует древний план, но совпадает с ним не полностью: отдельные участки древней структуры оказываются вне области пластического течения, а отложения соседних структурно-формационных зон местами вовлечены в зону хрупко-пластического продольного сдвигового течения.

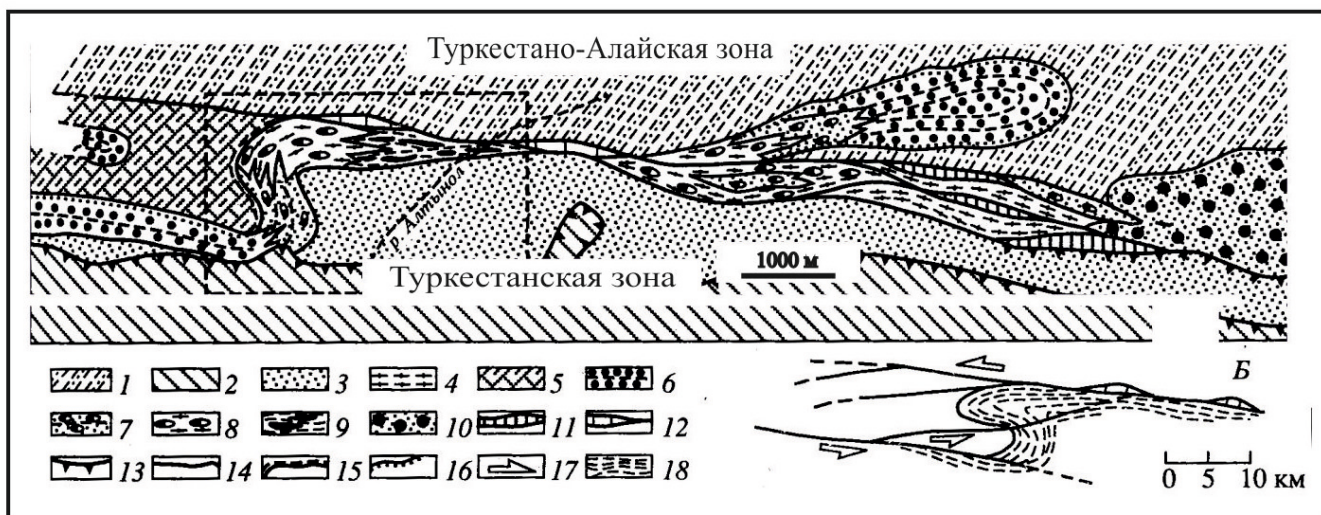


Рисунок 2.3 – Схема строения Курганакского сегмента Нуратау-Курганакской зоны.

1–2 – отложения зон: 1 – Туркестано-Алайской, 2 – Зеравшано-Туркестанской; 3 – кембрийские и каменноугольные терригенные отложения, неметаморфизованные; 4 – кембрийские отложения, метаморфизованные в фации зеленых сланцев; 5 – карбонатные отложения девона-нижнего карбона; 6-9 – верхнепалеозойские конгломераты и конгломерато-брекчии: 6 – недеформированные и неметаморфизованные, 7-9 – деформация: 7 – 0-200% (мусковит-хлоритовая субфация с содержанием метаморфических минералов до 75%), 8 – 200-500% (мусковит-хлоритовая субфация с содержанием метаморфических минералов 75-100%), 9 – более 500% (биотит-хлоритовая субфация, 100% метаморфических минералов); 10-11 – отложения палеогена-неогена: 10 – недислоцированные и неметаморфизованные, 11 – частично рассланцованные и метаморфизованные в фации зеленых сланцев; 12 – Будины известняков; 13 – надвиги; 14 – взбросо-сдвиги; 15 – срыв по стратиграфическому контакту; 16 – стратиграфический трансгрессивный контакт; для схемы в правом нижнем углу: 17 – направления смещений по оперяющим сдвигам; 18 – область пластического течения.

В пределах Курганакского сегмента зона концентрированных деформаций отвечает коллизийному шву, разделяющему Туркестано-Алайскую и Туркестано-Зеравшанскую структурно-формационные зоны. Ей соответствует область *хрупко-пластического сдвига*, которая формировалась в конце палеозоя и подвижки по которой возобновлялись на этапе новейшей активизации. Структура зоны в западной части района проста и представлена серией открытых складок с плавными перегибами и углами падения на крыльях 40°-50°. При движении в восточном направлении структура усложняется – складки делают более сжатыми, замки синклиналей

растягиваются, редуцируются, и на месте синклинальных перегибов развиваются всбросо-сдвиги с горизонтальной и вертикальной составляющей перемещения около 200-300 м. Антиклинали приобретают каплевидную форму. В районе сая Мурзаулей все толщи, имея субвертикальное, частично опрокинутое залегание, образуют горизонтальную S-образную складку (сигмоиду) с вертикальной осью. Структура осложнена серией левосторонних всбросо-сдвигов. Далее на восток следует зона расланцованных вертикальностоящих пород песчано-конгломератовой толщи (С₃-Р₁). Антиклинальные складки, крылья которых сложены известняками, растаскиваются, будинируются и в виде разновеликих будин трассируют плоскость Заамин-Каравшинского разлома. Вдоль разлома формируется зона тектонического хрупко-пластического течения, которая тянется на несколько десятков километров и переходит по простиранию в наложенную впадину, выполненную платформенными отложениями палеогена и молассовым комплексом олигоцена-миоцена.

Признаки объемного *продольно-сдвигового тектонического течения* горных масс пределах зоны наблюдаются на мега- макро-, мезо-, и микроуровнях.

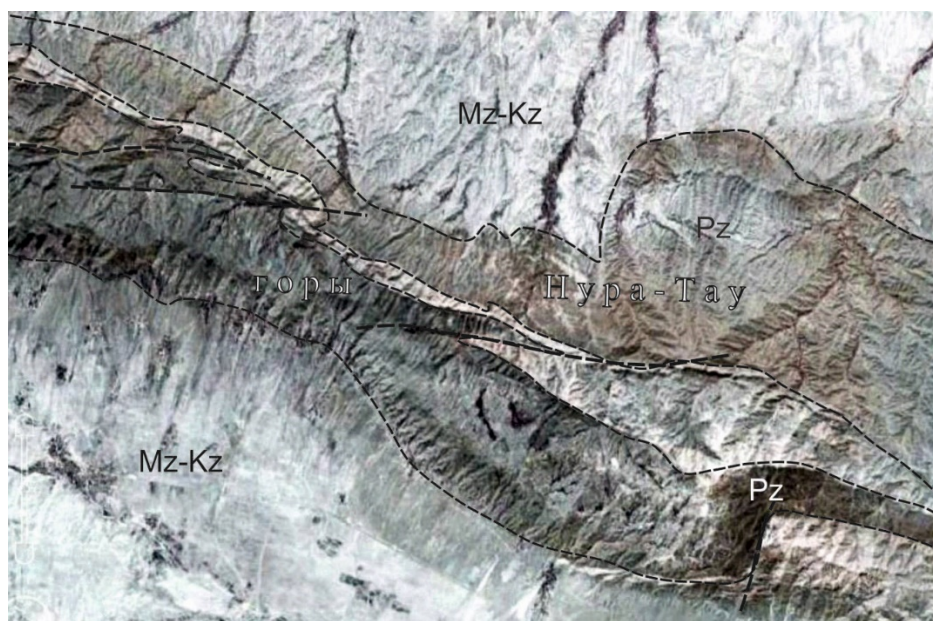


Рисунок 2.4 – Строение Нуратауского сегмента Нуратау-Курганакской зоны. Продольное сдвиговое течение особенно отчетливо проявлено на мегауровне в карбонатных толщах центральной полосе зоны.

В процессе исследований величины деформации по методике А.В. Лукьянова [1980, 1986, 1991] в конгломератовой толще верхнего карбона – нижней перми проводились массовые замеры деформации по галькам разного литологического состава. [Коньгин и др., 1988]. Величина деформации различна и колеблется от 0 – 120% до 200 – 500 и более %. Деформированы гальки всех разновидностей пород; они превращены в линзовидные и полосовидные включения с соотношением длины к ширине порядка 1:20 и более. Характерны полностью "растекшиеся"

конгломераты, в которых практически невозможно отличить гальки от цемента и от линзовидных веретенообразных метаморфогенных включений карбонатного состава. Гальки и цемент полностью охвачены пластической деформацией. Отдельные "упорные" гальки не подвергаются пластическому течению, а окатываются тектонически и превращаются в округлые включения, по форме которых, а также по наличию "хвостиков" устанавливается элемент их вращения. Оценка величины максимальной деформации в этих случаях полностью исключена. Пластическая деформация проявлена и на микроуровне, при этом практически невозможно разделить явления пластической деформации и вещественных преобразований, поскольку одним из элементов пластической деформации являются процессы растворения, перекристаллизации и кристаллизации новых минеральных фаз. В соответствии с этим на микроуровне выделены ступени структурно-вещественных преобразований, которые в известной мере соответствуют четырем уровням величины деформации, определенной по макровключениям.

В целом, согласно данным структурно-кинематического анализа, в пределах Нуратау-Курганакской зоны отчетливо проявлено продольное по отношению к простиранию структур объемное хрупко-пластическое течение горных масс, которое фиксируется на всех масштабных уровнях.



Рисунок 2.5 – Вид на Алайскую долину и Заалайский хребет с севера, со стороны Алайского хребта (фото Е.В. Лаврушиной).

3 Построение глубинных геоэлектрических разрезов исследуемых ключевых объектов по результатам профильных магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований

За последние годы для детального изучения литосферы Памиро-Алайской зоны силами Научной станции РАН было выполнено несколько профилей МТЗ-МВЗ: «Дараут-Курган», «TIPAGE-ALAI» и «Нура» (рисунок 3.1), секущих в субмеридиональном направлении Алайскую впадину и ее горное обрамление в районе наибольшего сближения Памира и Тянь-Шаня.

3.1 Профиль «TIPAGE-ALAI»

В результате выполнения комплекса зондирований на гетерогенной сети наблюдений профиля «TIPAGE-ALAI» 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.

Двумерная инверсия магнитотеллурических и магнитовариационных данных, полученных на профиле «TIPAGE-ALAI», выполнялась с помощью программы Rodi-Mackie.

Входной многокомпонентный ансамбль инвертируемых данных профиля «TIPAGE-ALAI» 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 пунктах профиля длиной около 170 км для 30 периодов зондирования в интервале от 1000 Гц до 2000 с.

Сеточная аппроксимация модели состояла из 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 (ТМ-мода) – 30%., фаза импеданса (ТЕ-мода) – 5°, фаза импеданса (ТМ-мода) – 5°, типпер (Hz) – 0.1%.



Рисунок 3.1 – 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).

Стартовая модель для 2D 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 2D инверсия многокомпонентного ансамбля данных, включающего амплитуды кажущегося сопротивления, фазы импеданса и типперы, для профиля «TIPAGE-ALAI».

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.

Геоэлектрическая модель по профилю «TIPAGE-ALAI» представлена на рисунке 3.2.

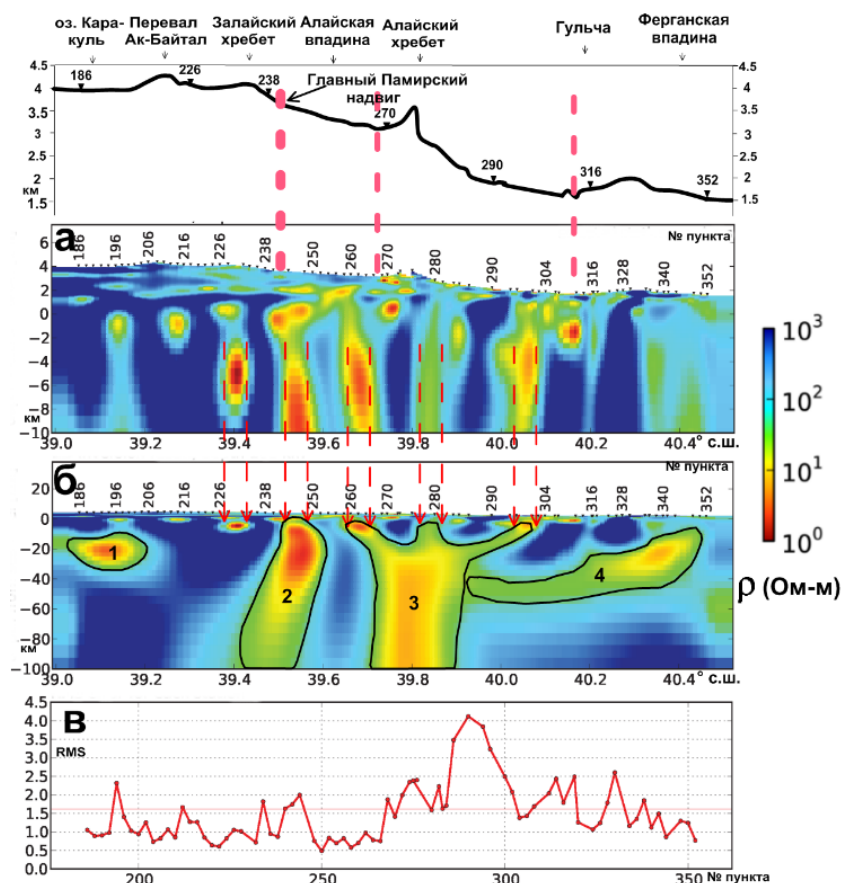


Рисунок 3.2 – Геоэлектрический разрез региональной профильной 2D-модели «TIPAGE-ALAI». а – верхняя часть разреза, б – полный разрез, в – распределение погрешности подбора данных по всем инвертируемым компонентам (RMS-невязка) для пунктов профиля.

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.

3.2 Профили «Дараут-Курган» и «Нура»

Аналогично проведенной инверсии по профилю «TIPAGE-ALAI» с помощью программы Rodi-Mackie были построены геоэлектрические разрез по локальным профилям «Дараут-Курган» и «Нура» (рисунок 3.3).

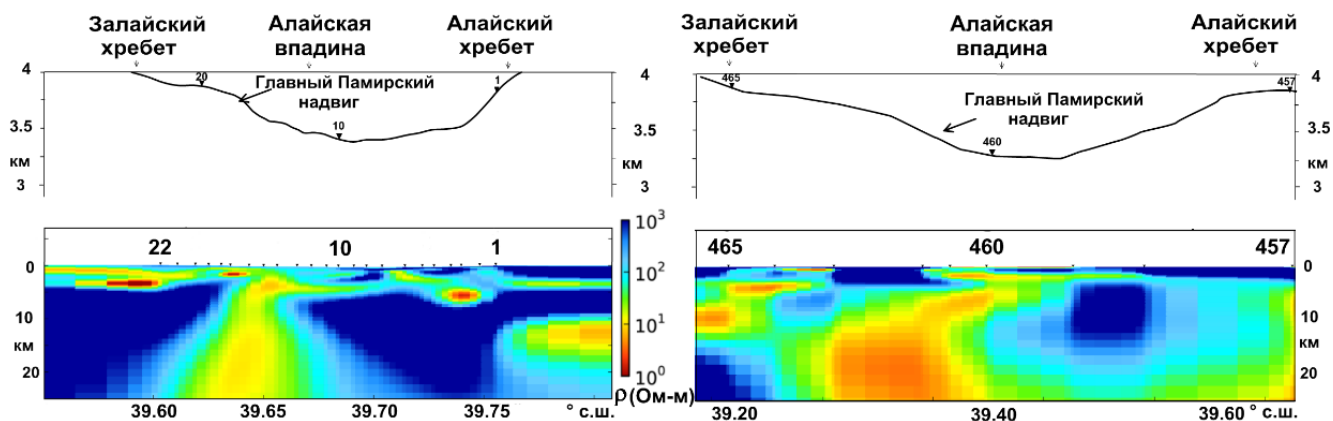


Рисунок 3.3 – Геоэлектрические разрезы вдоль локальных профилей «Нура» (слева) и «Дараут-Курган» (справа).

На всех 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, отвечающей Главному Памирскому надвигу, сохраняется практически без изменений во всех трех рассматриваемых сечениях.

Современный магнитотеллурический метод состоит из двух взаимосвязанных направлений: 1) магнитотеллурического зондирования (МТЗ), основанного на одновременных измерениях временных вариаций электрического и магнитного полей Земли, и 2) магнитовариационного зондирования (МВЗ), в котором используются временные вариации только магнитного поля. С помощью магнитотеллурического метода можно определить удельное электрическое сопротивление Земли - физический параметр, который особенно чувствителен к наличию фаз с низким сопротивлением, таким как: флюиды, частичные расплавы или соединения металлов. Полученные на основе данных МТЗ-МВЗ геоэлектрические разрезы литосферы исследуемого региона позволяют проследить развитие разломных зон по глубине, определить характеристики областей повышенной пористости и флюидонасыщенности (в том числе, частичного плавления), а также предоставляют дополнительную информацию для геодинамических построений.

Одной из основных задач интерпретации электромагнитных данных является изучение глубинного строения и «расшифровка» тектонической структуры исследуемого региона. Геодинамические процессы, происходящие в земной коре и верхней мантии, приводят к появлению многочисленных разломных зон, которые сопровождаются областями повышенной трещиноватости (зоны динамического влияния разлома). Эти зоны вследствие флюидной минерализации, сульфидизации и графитизации очень ярко проявляются в геоэлектрических

моделях, что может быть использовано для установления геологической истории формирования и изучения геодинамических процессов региона, а также для выявления зон возможного рудопроявления и нефтегазоносных месторождений.

3.3 Сопоставление характеристик полученных геофизических образов земной коры и пространственного распределения сейсмичности для исследуемой территории

В правой части рисунка 10 показана карта эпицентров землетрясений с энергетическим классом $K > 6$, из которой мы видим что большая их часть локализуется в узкой полосе вдоль простираения Алайской впадины. В левой части – геоэлектрический разрез 2D-модели «TIPAGE-ALAI» с гипоцентрами землетрясений класса $K > 11$ (по данным сейсмологической сети ИС НАН КР). Выявлена пространственная корреляция положения гипоцентров землетрясений, произошедших на территории Памиро-Алая, с особенностями геоэлектрической структуры земной коры этого района. Очаги землетрясений локализируются в градиентных зонах вблизи контактов между блоками или телами с контрастными геоэлектрическими параметрами. Исключение составляет проводящая область, соответствующая зоне Главного Памирского надвига и содержащая графитизированные образования. Гипоцентры землетрясений ($K > 11$) распределены внутри всего объема этой области до глубин 40 км.

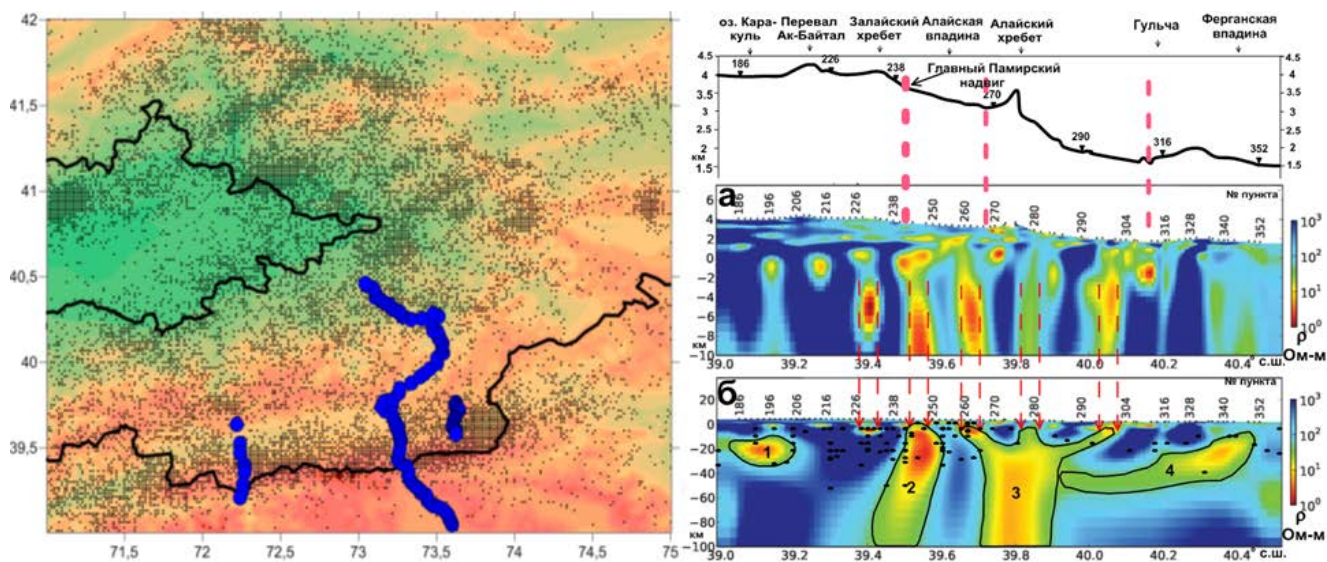


Рисунок 3.4 – В левой части рисунка приведена карта распределения эпицентров землетрясений с энергетическим классом $K > 6$. В правой части – геоэлектрический разрез профильной 2D-модели «TIPAGE-ALAI»: а – верхняя часть разреза, б – полный разрез. Темными кружками показаны гипоцентры землетрясений $K > 11$ в полосе шириной ± 50 км от линии профиля.

Заключение

Анализ литературного и личного материала исполнителей проекта позволил выявить несколько ключевых объектов, отражающих вертикально- и горизонтально-плоскостную сдвиговую деформацию и ее роль в формировании современной структуры региона в пределах Гиссаро-Алайского региона. С этой точки зрения наиболее полно были исследованы Сугутский метаморфический блок Восточно-Алайского хребта и Нуратау-Курганакская зона.

Результаты структурно-кинематических исследований и полуколичественная оценка величины деформации горных пород Сугутского метаморфического блока привели к ряду важных наблюдений и выводов.

- Морфология и внутренняя структура свидетельствует о растяжении в направлении главной оси синклиория на западном, северном и северо-восточном обрамления метаморфического ядра и о сжатии – на юго-восточном.

- Движение вещества шло вдоль осевой зоны Терекдаванского синклиория. Проскальзывание отдельных пластин по плоскостям внутриформационных срывов в продольном направлении свидетельствует о нагнетании материала с юга на север.

- Пластическое течение горных масс привело к горизонтальному расслоению первоначально единого разреза и формированию тектонических чешуй, надвигов и зон пластического течения

- Деформация осуществлялась по крайней мере в двух планах: при вертикальном стрессе и в процессе пластического нагнетания вещества с юга на север по направлению общего простирания структуры. На начальных этапах преобладал вертикальный стресс, вызванный, вероятно, весом вулканических построек и приведший в условиях соответствующих давлений и температур к образованию толщ метаморфических сланцев зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций метаморфизма.

- На заключительных этапах палеозойского развития Южного Тянь-Шаня в условиях теперь уже меридионального сжатия происходят пластическое перераспределение горных масс и их нагнетание в восточном направлении.

- Массы пластичных пород, имея на востоке жесткий упор в виде древнего Сулутерекского кристаллического массива и Таримского массива в целом, вынуждены были деформироваться, образуя постепенно крупную горизонтальную складку. Таким образом, изгиб Восточно-Алайской сигмоиды – это компенсация горизонтального перераспределения горных масс, связанного с их пластическим течением, а метаморфическое ядро Сугутского является ядром Восточно-Алайской горизонтальной протрузии.

- Существование в Туркестано-Алае зон концентрированной деформации, в которых обнаружено экстремальное продольное удлинение геологических объектов, позволяет

предполагать, что происходило также продольное удлинение всего складчатого пояса, – необходимое условие для формирования гигантской протрузии. Все сказанное свидетельствует о протрузивном механизме формирования Ферганской горизонтальной флексуры в результате тектонического течения масс.

Согласно данным структурно-кинематического анализа, проведенного в пределах Нуратау-Курганакской зоны, отчетливо проявлено продольное по отношению к простирацию структур объемное хрупко-пластическое течение горных масс, которое фиксируется на всех масштабных уровнях.

Построены глубинные геоэлектрические разрезы по профилям «TIPAGE-ALAI», «Нура» и «Дараут-Курган» для литосферы Памиро-Алайской зоны. По полученным геоэлектрическим характеристикам среды удалось проследить развитие разломных зон по глубине, определить характеристики областей повышенной пористости и флюидонасыщенности (в том числе, частичного плавления). Также для территории Памиро-Алайской области проведено сопоставление геоэлектрических характеристик земной коры с пространственным распределением сейсмичности по профилю «TIPAGE-ALAI». Для этого участка выявлена пространственная корреляция положения гипоцентров землетрясений, произошедших на территории Памиро-Алая, с особенностями геоэлектрической структуры земной коры этого района. Установлено, что очаги землетрясений локализуются в градиентных зонах вблизи контактов между блоками или телами с контрастными геоэлектрическими параметрами, за исключением проводящей области, соответствующей зоне Главного Памирского надвига.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Коныгин В.Г., Леонов М.Г. Тектоника Сугутского метаморфического блока (Южный Тянь-Шань) // Бюлл. МОИП. Отд. Геол. 1987. Т. 62. Вып. 6. С. 19-34.
- 2 Леонов М.Г. Тектоника консолидированной коры. М.: Наука, 2008. 468 с
- 3 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.
- 4 Лукк А.А., Шевченко В.И. Роль локальных процессов тектогенеза в деформировании слоистых толщ Таджикской депрессии // Физика Земли. 2004. № 11. С. 5–25.
- 5 Скобелев С.Ф. Горизонтальное сжатие и развитие складок на хребте Петра I // Геотектоника. 1977. № 2. С. 105 – 119.
- 6 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 intra-continental deformation due to the Indo-Eurasian collision // Tectonics. 2002/ Vol. 21. No 6 (1053). P. 417–420.
- 7 Rodi, W.L. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion [Text] / W.L. Rodi, R.L. Mackie // Geophysics. – 2001. – V 66. – P. 174-187.