

530.34

Е. НУСИПОВ, Ю.Г.ЩЕРБА

НОВЕЙШИЕ ДАННЫЕ О СВЯЗИ СОВРЕМЕННЫХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ С ГЛУБИННЫМИ СТРУКТУРНЫМИ ОБРАЗОВАНИЯМИ ОСНОВАНИЯ КОРЫ ПО ДАННЫМ GPS

Қазіргі кезде құрылымның ары қарай қалыптасып жатқанын дәлелдей отырып, жер қыртысы құрылымының ерекшеліктерін жер бетіндегі деформациялық процестермен байланысы бар екені көрсетілген. Солтүстік Тянь-Шаньдағы қазіргі замандық тектоникалық белсенді белдем аудандарын көрсете отырып, олардың күшті жер сілкіністердің эпицентрлік аудандарының кеңістікпен қатынасы көрсетілген. GPS – технологиялық мәліметтерін табиғи және техногенді геодинамикалық белсенді аймақтарды геодинамикалық аудандау үшін қолдануға болады.

Показана связь деформационных процессов на поверхности с некоторыми структурными особенностями строения основания коры, свидетельствующая о продолжающемся формировании этих структур в настоящее время. Выделены области современных тектонически-активных зон на Северном Тянь-Шане и показано их пространственное соотношение с эпицентрными областями сильнейших землетрясений. Данные GPS-технологии могут быть использованы для геодинамического районирования территорий с естественной и техногенной геодинамической активностью.

Connection of the deformation of processes on a surface with some structural features of the basis Earth's crust is shown, showing about proceeding formation of these structures now time. The areas modern tectonic of active zones on Northern Tien-Shan are selected and their spatial parity with epicentrum by areas strong of earthquakes is shown. The given GPS-technologies can be used for geodynamic zonation of territories with natural and technical geodynamic activity.

Ранее рассмотренные нами состояние проблемы изучения современных движений и основы методики проведения таких исследований с использованием орбитальных GPS-технологий выдвинули актуальную проблему интерпретации полученных данных. В числе наиболее важных вопросов является установление связи наблюдаемых на поверхности процессов с явлениями, происходящими на больших глубинах – у основания земной коры, а возможно и в верхней мантии. Бурное развитие направления использования данных о современных движениях на основе GPS-технологий в различных регионах мира, тем не менее, до сих пор документально не отражает связи наблюдаемых на поверхности земли полей движений и деформаций с особенностями процессов внутри коры и мантии. Это, вероятно, связано с тем, что слабо разработаны вопросы теоретических построений схем трансляции полей движений на другие уровни для реальных сред, да-

লেখিক от модели идеальной упругой среды. Именно по этой причине в наших исследованиях, по мере накопления представительных данных о скоростях движения на поверхности, была разработана эффективная и простая схема расчетов полей скоростей деформаций, а позднее было уделено особое внимание проблеме геолого-геофизического истолкования полученных результатов. Надо отметить, что для Центрально-Азиатского региона создались для этого достаточно благоприятные условия. Это связано также с большим количеством завершённых фундаментальных и прикладных исследований региона, основная масса которых была выполнена еще в советское время коллективами специалистов академических институтов и многих производственных организаций, проводивших исследования коры региона. Многочисленные исследования проводились как в помощь поискам новых месторождений, так и для решения общих вопросов геоди-

^{1,2} Казахстан, 050060, Алматы, пр. аль-Фараби, 75-а, Институт сейсмологии.

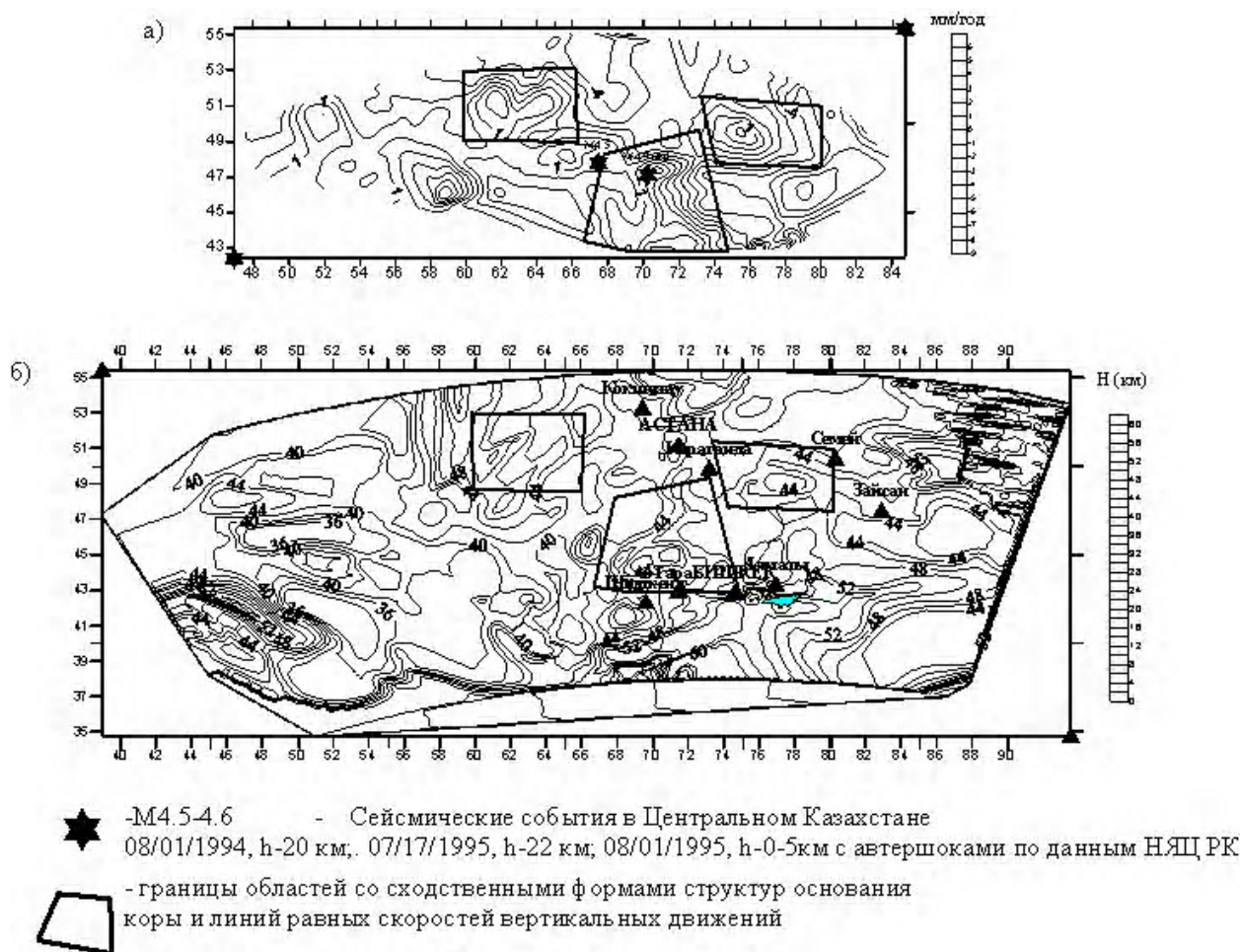


Рис.1 Отражение элементов новейших структурных форм рельефа основания коры в поле скорости современных вертикальных движений:

- а) – скорости современных вертикальных движений, построенные по данным ГУ Геодезии и картографии при Кабинете министров Республики Казахстан;
- б) – рельеф подошвы коры по данным В.И.Шацилова.

намики региона и для сейсмологии, в частности [1,2,3,4,6,7]. Подход для анализа современных движений строился по принципу идентификации или установления однозначной связи ранее известных особенностей строения коры региона с новейшими данными о скоростях движения и происходящих современных деформационных преобразованиях вещества. Кроме этого, обращалось внимание и на пространственно-временное взаимоотношение известных фактов и событий с данными, полученными по современным движениям.

Для анализа были привлечены и данные наземного нивелирования, выполнявшегося по специальным программам на территории Северного Тянь-Шаня, Средней Азии и Казахстана, начиная с 1934 г. Нами построен вариант карты

скорости современных вертикальных движений по материалам Казгеодезии и других организаций-участников работ на эпохи 1985-1992 гг. на территории Казахстана. Выявление однозначных связей структур в основании коры с полями на поверхности означает обнаружение современных активных областей на этих глубинах и одновременно подтверждает возможности технологии, основанной на высокоточных измерениях координат, обнаруживать активные зоны в коре и верхней мантии. Принципиальная сторона такой возможности состоит в том, что создалась возможность как бы увидеть в реальном масштабе времени происходящие в настоящее время процессы без каких либо дополнительных условий. Для проведения такого анализа нами были использованы достаточно надежные данные о структуре

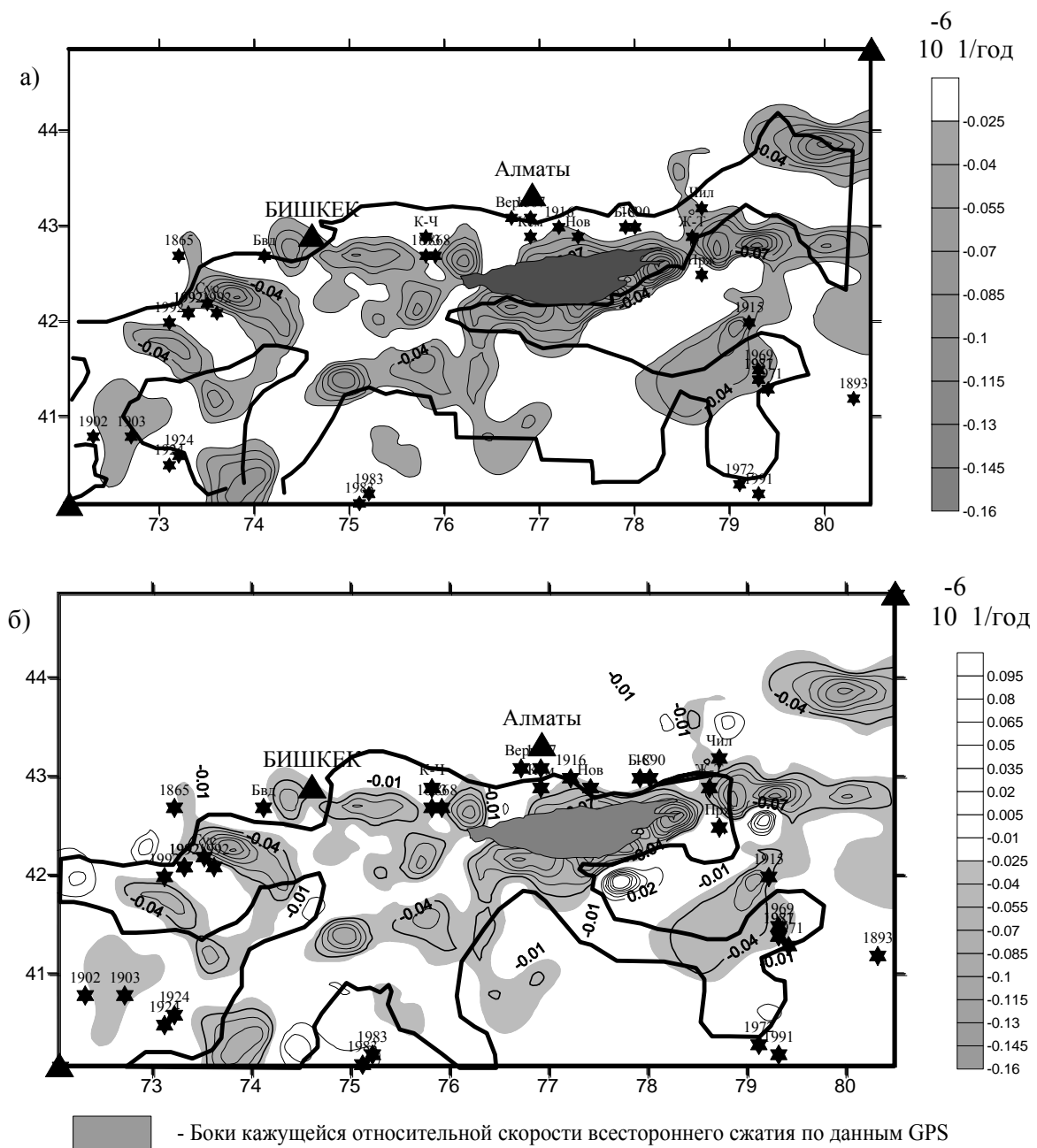


Рис. 2. Контуры нарушенных и погруженных скоростных слоев основания коры (а – $V_p = 6.8 \text{ км/с}$ и б – $V_p = 7.2 \text{ км/с}$) по сейсмическим данным (В.И.Шацлов) и области скорости всестороннего сжатия по данным GPS в орогенной части на Северном Тянь-Шане в проекции на поверхность удовлетворительно совмещаются

основания коры – поверхности Мохоровичича. Эти данные являются результатом обобщения многолетних работ ГСЗ и ГСП на территории Казахстана и сопредельных территориях, а также построения структур основания коры по результатам обработки годографов местных землетрясений, получаемых в виде сводных данных от групп сейсмических событий, произошедших в разное время (В.И.Шацлов и др.). Использо-

ваны также и структурные построения по отдельным скоростным слоям в основании коры по данным В.И.Шацлова для Северного Тянь-Шаня. На карте скорости современных вертикальных движений на эпоху 1995 г (по материалам наземного нивелирования Казгеодезии) вся территория Казахстана отчетливо делится на два крупных фрагмента с пограничной полосой между ними от Северного Тянь-Шаня в направлении на се-

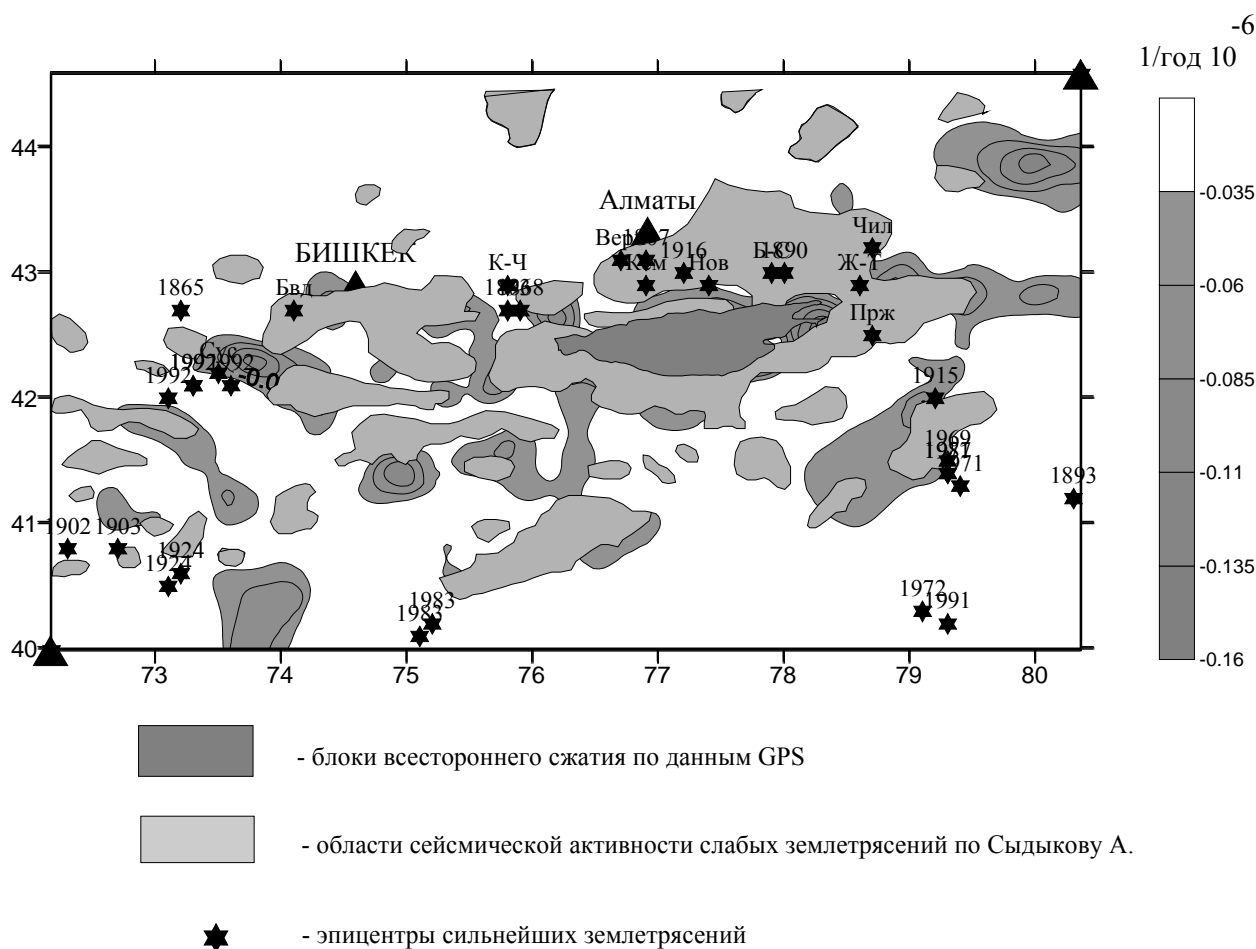
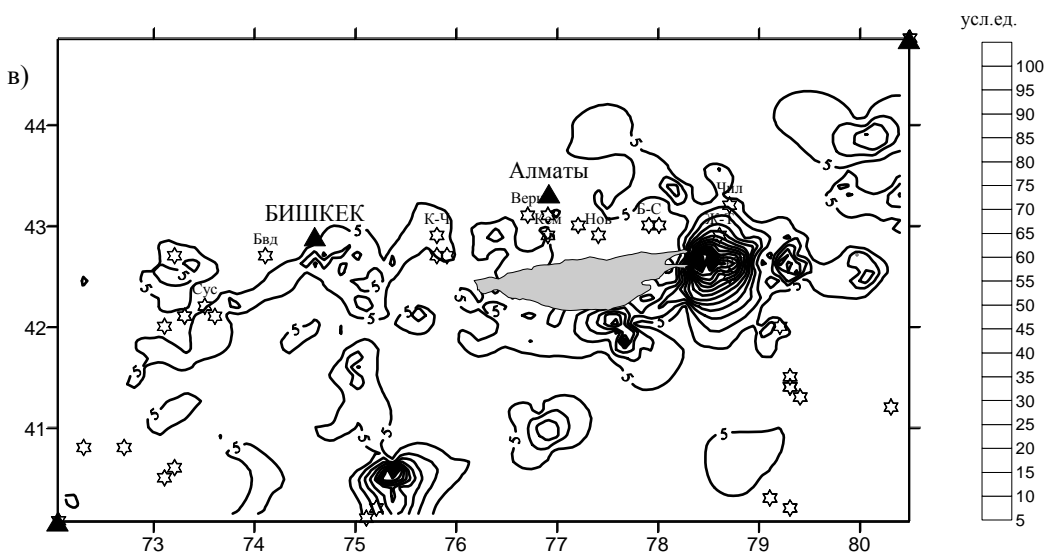
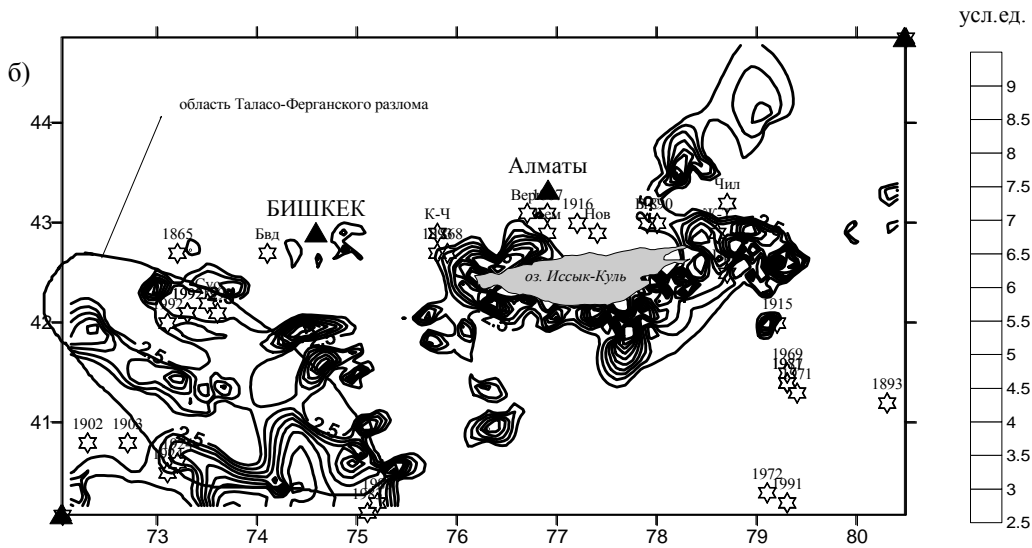
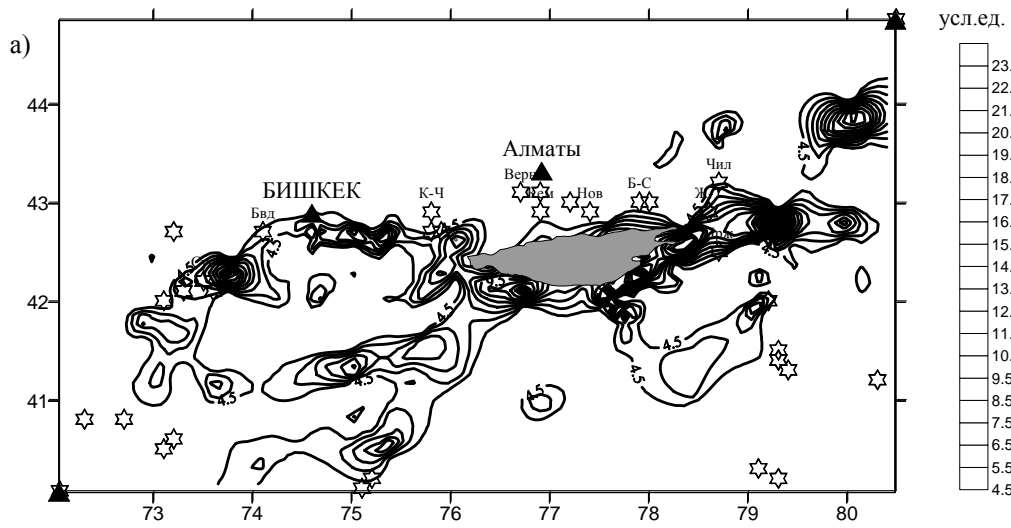


Рис. 3. Пространственное соответствие экстремальных значений сейсмической активности слабых землетрясений и блоков всестороннего сжатия на Северном Тянь-Шане

ро-запад к северной части Тургайского прогиба (рис. 1). К этой же полосе тяготеет и линия, отражающая точки с нулевой скоростью современных вертикальных движений. Сравнение карт рельефа основания земной коры (Шацилев В.И.) и карты скорости вертикальных движений легко обнаруживает сходственные формы рельефа основания коры и изолиний скорости для отдельных участков (рис. 1). Эти особенности довольно отчетливо пространственно соотносятся с полосой северо-западного направления, разделяющей территорию Казахстана по характеру вертикальных движений. Более того, примерно у этой же полосы в Центральном Казахстане расположены эпицентры группы сейсмических событий с афтершоками, произошедшие в 1995-2001 гг. магнитудой M до 4,5. Данный факт позволяет утверждать, что выделяемая полоса в современных вертикальных движениях отражает область активизации верхов мантии в направлении от Се-

верного Тянь-Шаня до Севера Тургайского прогиба в пределах территории Казахстана. Непосредственно в Центральной части Северного Тянь-Шаня, также в результате сопоставления карт всестороннего растяжения-сжатия (дивергенции горизонтальной скорости современных движений по данным GPS) обнаруживается пространственное совпадение областей экстремальных значений кажущегося всестороннего сжатия поверхности с областями наиболее погруженных скоростных слоев земной коры (свыше 50-60 км от поверхности в наиболее глубоких частях (рис. 2)). Скоростные слои с $V_p=6,8$ км/с и 7,2 км/с выделены по данным сейсмологических наблюдений с использованием сводных годографов рефрагированных волн местных землетрясений (Шацилев В.И.). Эти же скоростные слои севернее в пределах Казахского щита, располагаются на глубинах порядка 30-км. Интересно отметить, что другие скоростные слои, располагающиеся



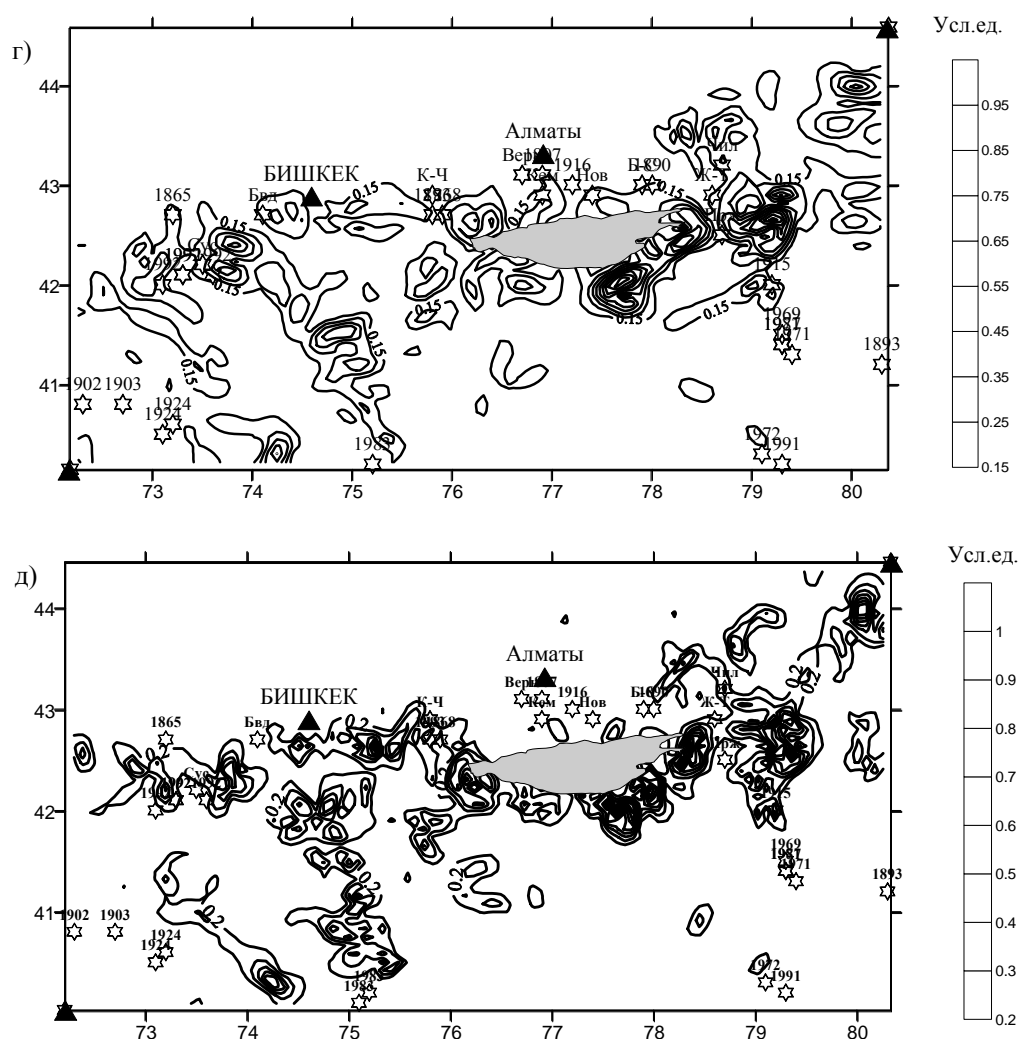


Рис. 4. Тектонически-активные зоны, проявленные на экстремальных значениях градиентов компонент: а) – юг-север; б) – запад-восток; в) – вертикальной; г) – градиенте всестороннего кажущегося сжатия; д) – градиенте циркуляции вектора горизонтальной составляющей остаточной скорости современных движений.

на меньших глубинах, не образуют видимых соответствий с контурами всестороннего сжатия. Карты экстремальных областей сейсмической активности слабых землетрясений (Сыдыков А., Садыкова А.Б.) в пределах Северного Тянь-Шаня отчетливо отражают пространственное соответствие экстремальных областей сейсмической активности с экстремальными значениями всестороннего сжатия (рис.3) [4]. Это указывает на то, что повышенная сейсмическая активность этой части региона обусловлена взаимодействием между собой сравнительно мелких блоков коры (вихревых ячеек), возникших в предшествующие этапы формирования региона в результате дробления земной коры на слабо сцементированные между собой блоки. Такая структура коры

не позволяет накопить больших запасов упругой энергии, но обеспечивает повышенное количество мелких землетрясений в единицу времени под действием практически стационарного современного континентального движения. Как видно из карты, эпицентры сильнейших землетрясений обрамляют области сейсмической активности со слабыми землетрясениями. Они располагаются в переходной области у границ шита, не затронутого еще активными новейшими динамическими процессами. Неоднородности полей компонент скорости современных движений, границы между экстремальными зонами растяжения–сжатия и пограничные области вихревых ячеек поля горизонтальной составляющей скорости отражают зоны в коре, где имеют место наибо-

лее контрастно выраженные переходы между соседними более или менее однородными блоками коры. Для эффективного формального выделения таких переходных зон нами предложено использовать модули горизонтальных градиентов соответствующих полей. Соответствующие расчеты выполнены в сертифицированном известном программном комплексе SURFER. Результаты представлены в виде карт, на которых области найденных экстремальных значений выделены по выбранной линии равных значений. Так как вектор скорости характеризуется тремя ортогональными компонентами, то вычисления были проведены для каждой компоненты. На представленных рисунках (рис.4) отчетливо видно, что все области экстремальных значений горизонтальных градиентов имеют примерно одно расположение на площади, но различаются конфигурацией. Зоны экстремальных значений циркуляции и всестороннего растяжения-сжатия, так же совпадают пространственно с зонами градиентов от компонент скорости. Экстремальными значениями горизонтального градиента компоненты скорости запад-восток отчетливо выражен Таласо-Ферганский разлом [2,3,6], что свидетельствует о том, что здесь современные тектонические процессы связаны преимущественно с неоднородностью движений в направлении запад-восток. Все полученные карты были визуально сопоставлены с космоснимками, на которых отчетливо прослеживаются разломы на поверхности. Большинство из выделенных зон однозначно совпадают с видимыми разломами. Для других на космоснимках не удается проследить визуально характерные признаки разломов. Видимо, в этих случаях необходим более тонкий инструментальный анализ, либо зоны вообще не проявляются на снимках. Приведенные факты с большой степенью вероятности свидетельствуют о современной тектонической активности, проявленной в выделенных по полям движений зонах [5], с которыми могут быть связаны и “живые” разломы. Отметим, расчеты были проведены на основании наблюдений по региональной сети пунктов GPS, которая не в полной мере отвечает системе для прослеживания разломов. Основной недостаток сети заключается в малой плотности пунктов и неравномерности, особенно в трудно доступных местах горных хребтов и долин. Все известные эпицентры сильнейших

землетрясений Северного Тянь-Шаня приурочены к выделенным областям тектонической активности, но различно расположены относительно экстремальных значений градиентов компонент скорости и видов деформационных проявлений. Это указывает на то, что формирование очагов происходило в результате различных по характеру видов перемещения вещества коры. Из установленных фактов также следует, что практически все известные эпицентральные зоны сильнейших землетрясений находятся в состоянии современной повышенной тектонической активности. По величине значений градиента можно косвенно судить об интенсивности активизации, но для более глубоких выводов требуется дополнительный анализ. Локальные зоны повышенной тектонической активности могут включать и “живые” разломы, крылья которых имеют различия в движениях, что и определяет положение центральной части активного или “живого” разлома.. Выделенные зоны также свидетельствуют о том, что наиболее ощутимые особенности движений, а также и возможные быстрые изменения в характере этих движений связаны именно с зонами современной тектонической активности. В промежутках между ними изменения во времени состояния движения могут быть незначительными, а, следовательно, и трудно наблюдаемыми. Таким образом, мониторинг современных движений для прогнозирования общего геодинамического состояния коры должен проектироваться с учетом расположения активных зон региона. Этот вывод представляется важным при использовании данных GPS в построении прогнозов сейсмической активности. Обнаруженная и подтвержденная линейная область современной тектонической активности верхней мантии, протягивающаяся через территорию Казахстана от Тянь-Шаня на юге до северной части Тургайского прогиба, свидетельствует о том, что и под традиционными платформенными образованиями, сформированными еще в палеозойское время, могут развиваться новейшие области тектонической активности. В их пределах вполне можно ожидать возникновение сейсмических событий, на что указывает рой землетрясений в Центральном Казахстане с M до 4,5 в 1995-2001 гг. Не исключены и более сильные проявления. Таким образом, стало ясно, что при очередном обновлении карт районирования

территории Республики следует широко использовать данные высокоточных GPS-измерений параметров современных движений. Новые принципиальные результаты о динамике основания коры однозначно указывают на приоритет GPS исследований и мониторинга на всей территории Казахстана с увязкой регионов с различным геодинамическим состоянием в одну систему. При этом наиболее детальные исследования должны быть организованы в районах повышенной сейсмической активностью и площадях с интенсивной техногенной нагрузкой, особенно на объектах добычи углеводородного сырья. Полученные результаты следуют исключительно из стационарных особенностей неоднородных современных движений поверхности, наблюдаемых по остаточному полю скорости. Для мониторинга состояния коры во времени крайне важным представляется создание сетей непрерывных (перманентных) GPS-наблюдений. Принимая к сведению значительные размеры территории Республики, дальнейшее развитие систем наблюдения должно носить поэтапный характер. Это касается как сетей региональных измерений, так и непрерывных, организуемых на отдельных участках или территориях. Изучение особенностей деформационных проявлений, связанных с отдельными активными разломами, требует индивидуального подхода в зависимости от поставленной задачи, необходимой детальности и геометрии разрывных нарушений на поверхности.

Из вышесказанного следует:

- Неоднородности поля скорости современных движений земной поверхности в поле остаточных скоростей определяют деформационные процессы, проявляющиеся в структурных особенностях основания коры.

- Процессы современного деформирования отмечаются не только в сейсмически активных регионах, но и в основании коры платформенных областей. Доказано существование такой области на территории Республики Казахстан от Се-

верного Тянь-Шаня до северной части Тургайского прогиба.

- Установленный вихревой характер поля скорости в центральной части Северного Тянь-Шаня, обусловлен особенностями взаимодействия относительно мелких блоков – результатов дробления коры на ранних этапах геодинамической активности, с чем и связана повышенная современная сейсмическая активность, выраженная слабыми землетрясениями.

– Эпицентральные зоны сильнейших землетрясений обрамляют область вихревых движений и отмечаются современной активностью, выражающейся в проявлении контрастных форм скоростей движения и деформационных проявлений.

– Состояние движений и деформационных проявлений активных участков может служить характеристикой динамического состояния региона в целом

ЛИТЕРАТУРА

1. *Abdrakhmatov K. Te., Aldazhanov S. A., Hager B. H.* and str. Relatively recent construction of the Tien Shan inferred from GPS measurements of present-day crust deformation rates // *Letters to Nature. Nature. Vol. 384. 5 Desember 1996, pp. 450-453.*
2. *Макаров В. И., Абдрахматов К. Е., Айт матов И. Т.* и др. Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия) М.: Научный мир. 2002, 400 с.
3. *Миди Б. Дж., Хагер Б. Х.* Современное распределение деформаций в западном Тянь-Шане по блоковым моделям, основанным на геодезических данных // *Геология и геофизика, 2001, т. 42, № 10, с. 1622-1633.*
4. *Сыдыков А.* Сейсмический режим территории Казахстана Алматы; "Гылым", 2004, 270 с.
5. *Трифонов В. Г.* Живые разломы земной коры // *СОЖ, 2001, №7, с. 66-74.*
6. *Уломов В. И.* О роли горизонтальных тектонических движений в сейсмогеодинамике и прогнозе сейсмической опасности / *Физика Земли, 2004, №9, с. 14-30.*
7. *Шацлов В. И., Горбунов П. Н., Тихомиров А. И.* Геофизическая и геодинамическая характеристики очаговых зон сильных землетрясений Северного Тянь-Шаня / *Геология Казахстана, Алматы, №2, 2001, с. 24-38.*