

Ж. Ш. ЖАНТАЕВ, Ю. Г. ЩЕРБА, Б. К. КУРМАНОВ, Н. А. АСАНКУЛОВ, К. А. САДЫКОВ

РАСЧЕТЫ ПОЛЕЙ ДВИЖЕНИЯ И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ ПО ОБНОВЛЕННЫМ ИСХОДНЫМ ДАННЫМ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ GPS-НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ СЕВЕРО-ТЯНЬ-ШАНЬСКОГО РЕГИОНА

ДТОО «Институт Ионосфера» АО «НЦКИТ», г. Алматы

Проведены расчеты полей современных движений и их производных для Северо-Тянь-Шаньского региона на основе обновленных данных первичной обработки GPS-наблюдений Центрально-Азиатского региона. Рассчитанные картосхемы составляющих тензора скорости деформирования на поверхности могут быть использованы для интерпретации с позиций оценки происходящих геодинамических процессов, в частности, особенностей движения вещества коры и формирования очаговых зон землетрясений различного энергетического класса. Установлена и подтверждается ранее выявленная и отчетливо выраженная приуроченность эпицентров землетрясений к областям повышенных градиентов, составляющих скорости современных движений и производных от них скоростей деформирования.

В настоящее время не существует единого подхода и общепринятых методических приемов интерпретации данных о современных движениях, в том числе и мониторинговых наблюдений. В каждом конкретном случае изучения современных движений ставятся свои задачи, возможно и сходные по своей сути для различных применений изучения современных движений. В общем случае под интерпретацией современных движений можно понимать получение общей характеристики геодинамических процессов на изучаемой территории и оценку перспектив ее развития в будущем на основе комплексного анализа полей по компонентам скорости движения пунктов. Обычно на предварительных подступах к интерпретации важным является дать всестороннюю качественную и количественную оценку наблюденных полей движений. Для этой цели находят разнообразные производные от исходного поля. Примерами могут быть расчеты составляющих тензора деформаций по полям исходных компонент скоростей движения, карты блоков поверхности, отражающие структуру исходного поля движений и другие. Совместно с исходными, производные данные позволяют прояснить физическую картину геодинамического процесса, распространенность его в объеме коры, или, наконец, связь выявленных особенностей с некоторыми следствиями типа сейсмических событий и их распределением на исследуемой территории. Наборы получаемых производных характеристик существенно зависят от исходных (базовых) представлений о модели изучаемого геодинамического процесса. Именно на этом базируются и способы анализа и различия в результатах, которые по определению должны быть одинаковыми или близкими. Если очевидны значительные несовпадения в конечных результатах, то неизбежна ошибочность в некоторых из предлагаемых модельных представлениях о геодинамическом процессе. На современном этапе можно выделить следующие основные разновидности в априорном подходе к оценке сути изучаемого процесса наблюдаемых современных движений:

– модули исходных наблюденных полей рассматриваются как двумерные функции, заданные на поверхности наблюдений и имеющие в зависимости от координат различные значения градиентов, значения кривизны, спектральное содержание, соотношение сигнал/помеха и некоторые другие параметры [1];

– исходные поля компонент скорости имеет блочную структуру и отражают блочное строение коры исследуемого региона. В настоящее время это наиболее типичный подход многих исследователей и одновременно один из наиболее исторически сложившихся [2, 3];

– исходные данные о современных движениях рассматриваются как векторное поле, заданное на поверхности наблюдений. Рассматриваются свойства этого поля в виде типовых характеристик в соответствии с положениями теории поля: скалярная и векторная производные поля (соответственно дивергенция и циркуляция поля), как функции координат поверхности наблюдения, градиент исходного поля. В дополнение к этим характеристикам производится вычисление азиму-

тально-зависимых составляющих линейной относительной деформации, составляющих горизонтального сдвига и некоторые другие.

Получаемые параметры в двумерном отображении (заданные на горизонтальной поверхности) сопоставляются с известными из независимых источников другими характеристиками геодинамического процесса (очаговых зон землетрясений, рельефом, сейсмической активностью и т.д.) [8].

Каждый из приведенных базовых подходов характеризуется как положительными сторонами, так и определенными недостатками. Так, блочное представление движений для всей поверхности Земли привело к фундаментальным выводам о плитотектонике, указало границы между континентальными плитами, выполняющими функции сейсмических поясов с концентрацией к ним эпицентров землетрясений в масштабах всей Земли. Но при анализе геодинамических процессов на меньших территориях возникает противоречие в сочетании таких явлений, как деформации в условиях взаимодействия жестких плит. Разделение на отдельные блоки только лишь по полю скоростей пунктов наблюдения неизбежно приводит к принятию субъективных допусков, как следствие – неоднозначности результатов при независимых разделениях на блоки.

При проведении исследований нами был избран третий вариант, позволяющий достаточно широко применять формальный, хорошо разработанный аппарат теории поля. При этом удается легко, с физических позиций объяснить многие геодинамические особенности региона. Этот подход применим к любым участкам поверхности, но требует достаточной полноты сети наблюдений. Большим положительным качеством метода является простое объяснение наблюдаемых деформационных процессов. В этом подходе необходимо лишь принятие допущения, что реальная среда непрерывна и наделена различными свойствами в отношении деформирования, т.е. одновременно упруго-пластично-текучими свойствами и обладает вязкостью. При этом в экспериментальных исследованиях в отдельных случаях сознательно допускается нарушение одного из условий изучения деформационных свойств неоднородных упругих сред. Оно, как известно, состоит в необходимости использования малых баз для изучения деформаций более высокого порядка малости по сравнению с базой. Этим гарантируется проведение оценок в пределах однородного элемента среды. Если база велика и в ее пределах помещается неоднородная или кусочно-неоднородная среда, то в данном случае необходимые оценки деформирования уже не могут быть связаны с какой-либо однородной составляющей частью изучаемой среды. Речь в данном случае может идти лишь о некоторых эффективных параметрах деформирования, отличающихся в общем случае от аналогичных показателей отдельных однородных составляющих элементов рассматриваемой неоднородной среды. Именно эти обстоятельства являются предметом противоречивых условий выбора параметров, например, линейных деформографов. С одной стороны, для повышения чувствительности необходимо увеличение плеча деформографа, а с другой – рычаг должен быть по возможности малым, чтобы база прибора размещалась в пределах однородного блока. При использовании GPS-технологии для оценки деформационных процессов база составляет величину не менее расстояния между пунктами (сотни метров, первые километры). Таким образом, ясно, что в пределах базы большого размера может быть несколько границ или областей с изменениями свойств реагирования на внешнюю нагрузку (действующее напряжение). Отсюда следует вывод: сравнение результатов оценки параметров деформирования, полученных разными методами и на различающихся базах, некорректно, более того, недопустимо. В пределах всей изучаемой или контролируемой территории величина базы должна быть неизменной.

В данной работе рассчитаны поля градиентов для полей ортогональных составляющих скоростей пунктов горизонтальных движений для выяснения возможной пространственной приуроченности сейсмических событий к поверхности с особенностями градиента той или иной составляющей скорости.

Комплекс программ, разработанный авторами, позволяет рассчитывать матрицы эллипсов скоростей деформирования у каждой точки дискретной регулярной сети. Эти матрицы с координатной привязкой каждого эллипса служат своеобразными картами об особенностях изучаемого деформационного процесса на площасти мониторинга. Получение значений кажущейся скорости деформирования у каждой точки сети для упорядоченной последовательности азимутов позволяет формировать кинограммы (анимации), наглядно отображающие изменения картины деформирования на контролируемой территории в зависимости от азимута. Кроме перечисленного, комплекс

позволяет построить графики как по любым профилям на площади наблюдений, так и по профилям в виде ломаных линий.

На рис. 1 отображен переход от орогенов Северного Тянь-Шаня к Казахскому щиту в поле компоненты движений запад-восток. Граница Казахского щита на юге отмечается выраженной сменой изрезанности поля, что свидетельствует о появлении структур в коре более высокого порядка в результате возникших динамических процессов, повлекших также и рост сейсмической активности. На северо-востоке менее изрезанным полем компоненты запад-восток проявлен геодинамически активный Алтай. Переход от Жетысуского Алатау к Алтаю отмечен полосой повышенных градиентов ($44,5^{\circ}$ С.Ш.) субширотной ориентировки линий равных значений компоненты запад-восток.

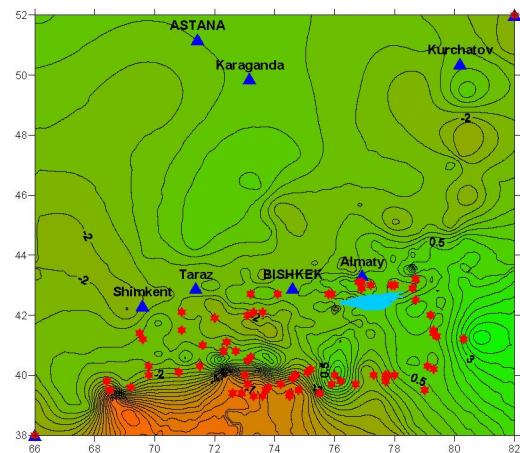


Рис. 1. Карта поля компоненты скорости запад-восток с положением эпицентров сильнейших землетрясений

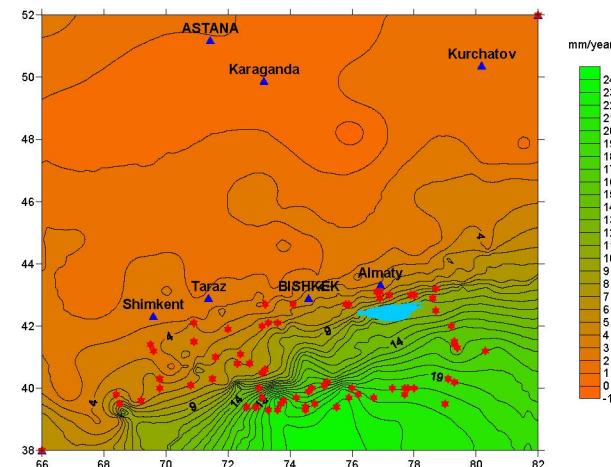


Рис. 2. Карта поля компоненты скорости юг-север с положением эпицентров сильнейших землетрясений

Казахский щит от Северо-Тянь-Шаньских структур на картосхеме компоненты север-юг (рис. 2) отделяется полосой повышенных градиентов поля простирания СЗ-СВ.

Для оценки степени взаимообусловленности неоднородностей полей скорости движения и сильной сейсмичности Северного Тянь-Шаня рассчитаны горизонтальные градиенты (рис. 3, 4). На картосхемах градиентов представлены области вблизи экстремумов.

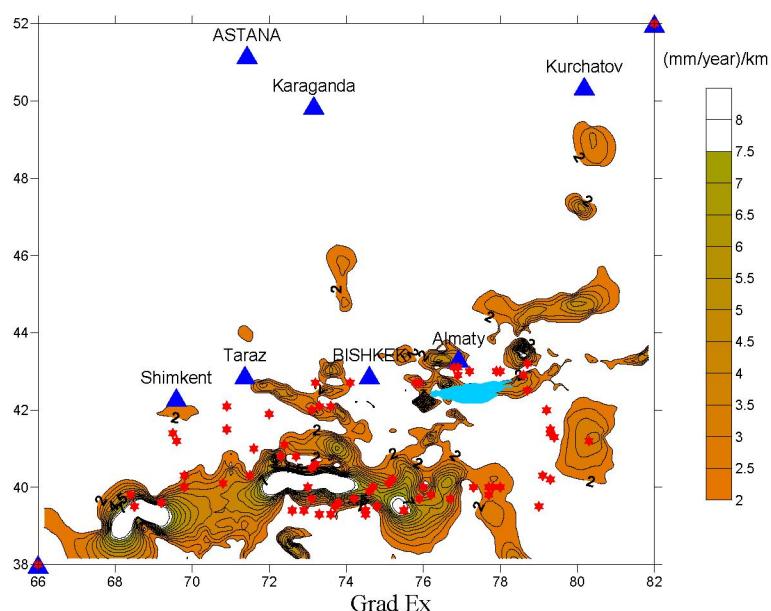


Рис. 3. Картосхема горизонтального градиента компоненты скорости запад-восток с эпицентрами сильных землетрясений

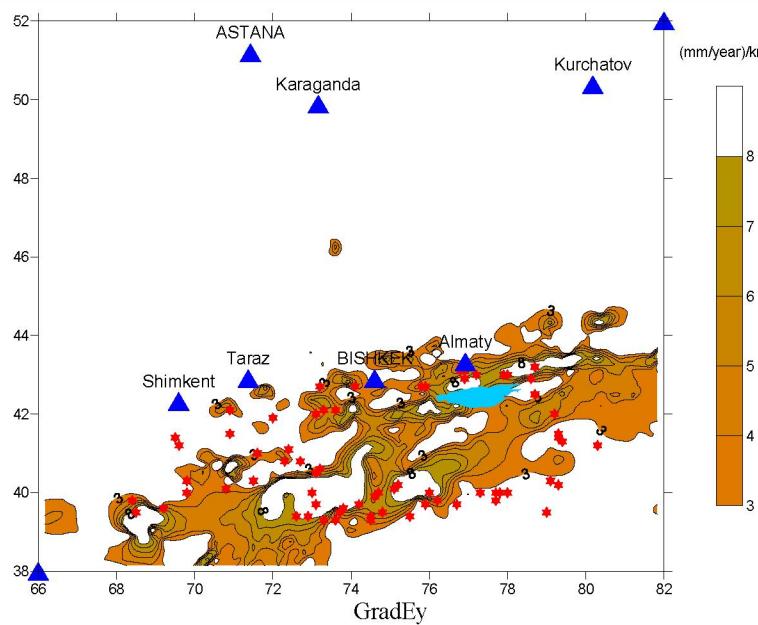


Рис. 4. Картосхема горизонтального градиента компоненты скорости юг-север с эпицентрами сильных землетрясений

Используя понятия аппарата теории поля, также были рассчитаны для векторного поля горизонтальной составляющей скорости современных движений циркуляция поля (или ротор) и дивергенция (сходимость–расходимость поля). Ротор, отличный от нуля, означает вихрь в структуре поля, а дивергенция указывает на наличие в некоторой точке, окруженной замкнутым контуром, источника или стока векторного поля. С учетом того, что скорость и ее составляющие относятся к веществу коры на поверхности, то значения циркуляции и дивергенции имеют значимый физический смысл, о чём будет сказано ниже (рис. 5, 6).

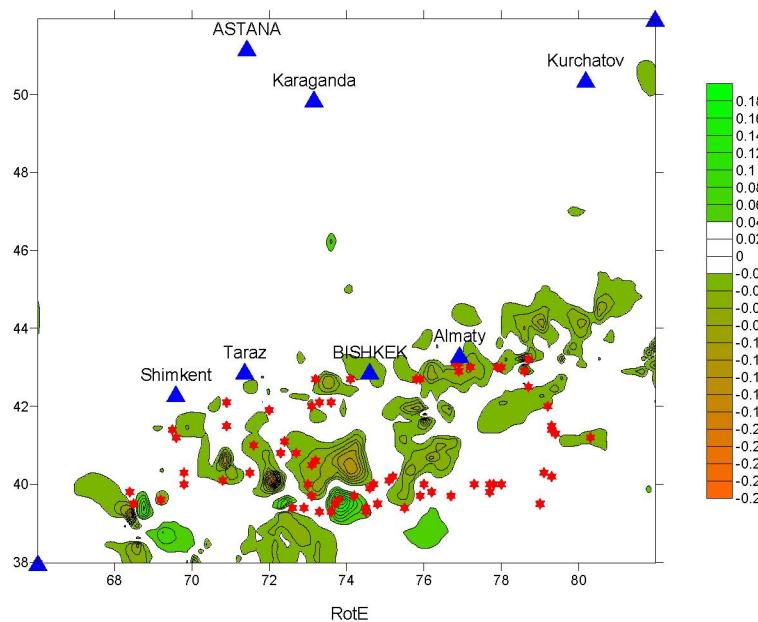


Рис. 5. Ротор (векторная производная) горизонтальной составляющей скорости современных движений, указывающий на вихревой характер движения поверхности орогенов Северного Тянь-Шаня

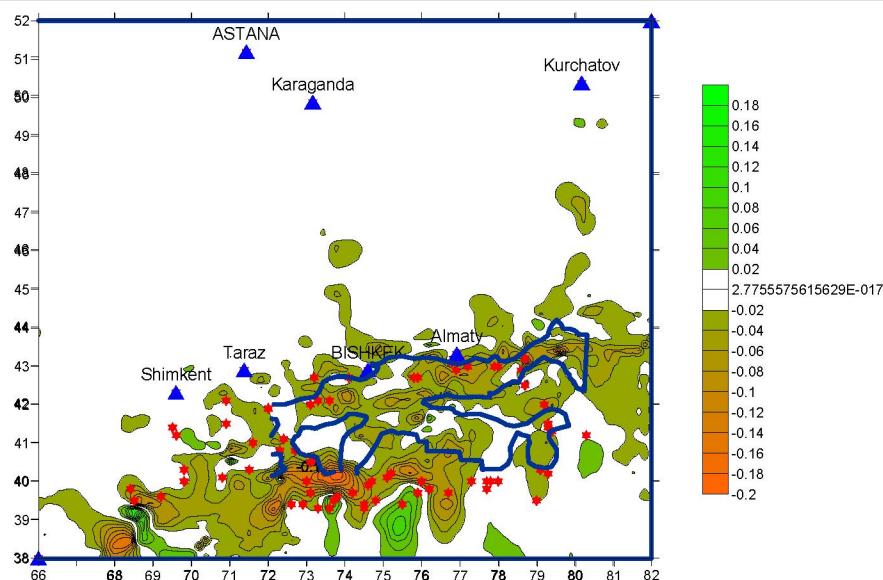


Рис. 6. Дивергенция поля (скалярная производная) горизонтальной составляющей скорости современных движений поверхности с линией скорости $V_p = 6,8$ км/с на глубине не менее 50 км (по В.И. Шапилову)

На рис. 7 показана картосхема областей экстремальных значений сдвига по азимуту 9° для Северо-Тянь-Шаньского региона на основе данных GPS-наблюдений.

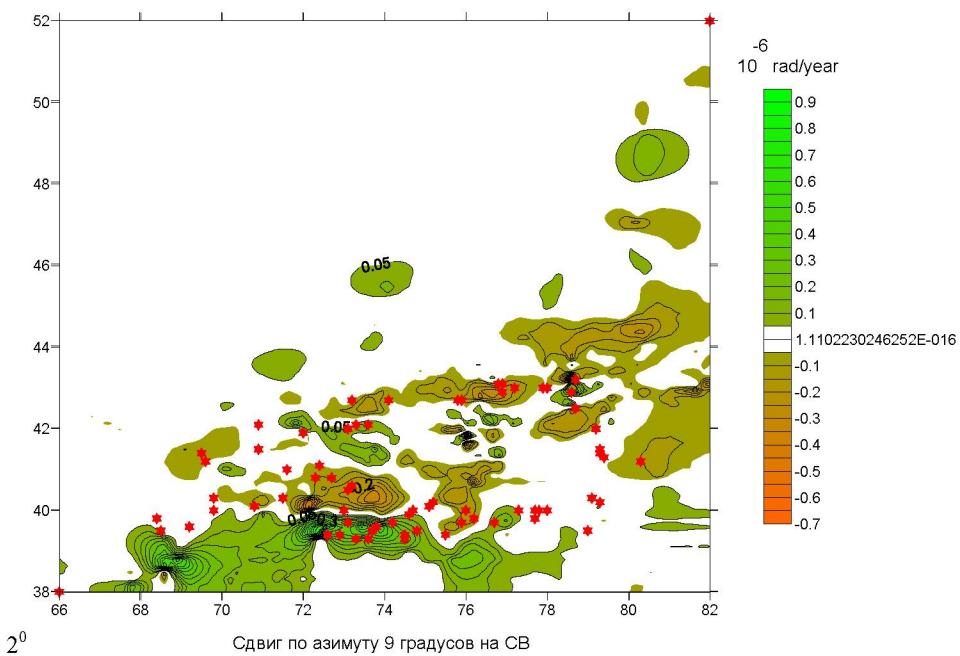


Рис. 7. Картосхема областей экстремальных значений сдвига по азимуту 9° для Северо-Тянь-Шаньского региона на основе данных GPS-наблюдений

В результате расчетов полей современных движений и их производных для Северо-Тянь-Шаньского региона на основе обновленных данных первичной обработки GPS-наблюдений Центрально-Азиатского региона, установлено, что некоторое различие в результатах первичной обработки в основном связано с выбором опорных станций мировой сети, но не приводит к принципиальному различию результатов.

Полученные вновь картосхемы составляющих тензора скорости деформирования на поверхности могут быть использованы для интерпретации с позиций оценки происходящих геодинамических процессов, в частности, особенностей движения вещества коры и формирования очаговых зон землетрясений различного энергетического класса.

Установлена и подтверждается ранее выявленная и отчетливо выраженная приуроченность эпицентров землетрясений к областям повышенных градиентов составляющих скорости современных движений и производных от них скоростей деформирования.

Для центральной зоны Северного Тянь-Шаня подтвержден вихревой характер движения поверхности, свидетельствующий о пересечении дневной поверхности с плоскостями (или областями) живых разрывных нарушений.

Выявленная тесная взаимообусловленность современных движений и распределения сейсмичности в регионе однозначно свидетельствует об актуальности развития системы непрерывного мониторинга современных движений с охватом зоны неизбежного возникновения будущих сильных событий.

Работа выполнена по РБП 002 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности» в рамках темы «Разработать методы оценки геомеханического состояния земной коры кризисных территорий с использованием математического моделирования и спутниковых технологий».

ЛИТЕРАТУРА

1 Грачев А.Ф., Мухамедиев Ш.А., Николаев В.А. Геометрические характеристики новейших тектонических движений (Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта) // Российский журнал наук о Земле. – Февраль 2000. – Т. 2, № 1.

2 Зубович А., Бейсенбаев Р., Сюочан Ван, Юнфен Джан, Кузиков С., Мосиенко О., Нусипов Е., Щелочков Г., Щерба Ю. О некоторых результатах анализа кинематики Тянь-Шаня и окружающих районов по данным GPS-наблюдений // МОН РК. Институт сейсмологии, Международный научно-исследовательский центр – геодинамический полигон. Геодинамические, сейсмологические и геофизические основы прогноза землетрясений и оценки сейсмического риска. (Доклады Казахстанско-Российской междунар. конф., посвящ. году России в Казахстане 22–24 июня 2004 года). – Алматы, 2005. – С. 34-40.

3 Миди Б.Дж., Хагер Б.Х. Современное распределение деформации в Западном Тянь-Шане по блоковым моделям, основанным на геодезических данных // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 10. – С. 1622-1633.

4 Сидорин А.Я. Выдающееся достижение Российской Академии Наук: Успешный прогноз землетрясения в Японии 11 марта 2011 года (Институт физики Земли) // Геофизические процессы и биосфера. – 2011. – Т. 10, № 1. – С. 5-8.

5 Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений. – М.: Наука, 2003. – 270 с.

6 Любушин А.А. Тренды и ритмы синхронизации мультифрактальных параметров поля низкочастотных микросейсм // Физика Земли. – 2009. – № 5. – С. 15-28.

7 Соболев А.Г. О применимости прогностических алгоритмов RTL и оценки энергии к сейсмичности Сахалина. Институт физики Земли РАН, Москва, 123995.

8 Щерба Ю.Г. Деформационные процессы на основе GPS-измерений и возможность прогноза сильнейших сейсмических событий // Министерство образования и науки Республики Казахстан. Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, Институт гидрогеологии и геэкологии им. У. М. Ахмедсафина, Институт сейсмологии. Материалы к XXXIII геологическому конгрессу. – Осло, 2008. – С. 421-433.

Ж. Ш. Жантаяев, Ю. Г. Щерба, Б. К. Құрманов, Н. А. Асанқұлов, К. А. Садықов

СОЛТУСТИК ТӘНЬ-ШАНЬ АЙМАҒЫ ҮШІН GPS БАҚЫЛАУДЫҢ АЛҒАШҚЫ ЖАҢАРТЫЛҒАН МӘЛІМЕТТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ҚАЗІРГІ ҚОЗҒАЛЫСТАР ӨРІСТЕРІ МЕН ОНЫҢ ТУЫНДЫЛАРЫН ЕСЕПТЕУ

Орталық Азия аймағын GPS бақылауының алғашкы өндөрілуі жаңартылған мәліметтері негізінде Солтүстік Тянь-Шань аймағы үшін бастапқы деректер көзіргі қозғалыстардың өрістері және олардың туындылары есептелді. Геодинамикалық үдерістерді бағалау тұрғысында, интерпретация үшін жер бетіндегі деформациялану жылдамдығының тензорын құраушылардың өлшенген карта-схемалары қолдана алды. Жеке алғанда жер қыртысы бөлшектерінің жылдамдығы және әртүрлі энергетикалық топтағы жер сілкінісі ошақтарының қалыптасуының ерекшеліктері. Қазіргі қозғалыстарының жылдамдығын және олардан туындаған деформациялану жылдамдығын құраушылардың жоғарылатылған градиент аймағына ерте анықталған анықтамалық көрінетін жер сілкіні эпицентрлерін ұштастыру анықталды және дәлелденді.

Zh. Sh. Zhantayev, Yu. G. Sherba, B. K. Kurmanov, N. A. Asankulov, K. A. Sadikov

CALCULATIONS OF FIELDS OF MOVEMENT AND THEIR DERIVATIVES ON THE UPDATED INITIAL DATA PRIMARY GPS PROCESSING – NORTH TIEN SHAN REGION OBSERVATIONS

Calculations of the field modern movements and their derivatives for the North Tien Shan region, based on updated data preprocessing GPS-observations of the Central Asian region. The calculated maps of their tensor components of strain rate on the surface can be used to interpret in terms of ongoing assessment of geodynamic processes, in particular traffic characteristics of the substance of the crust and the formation of focal zones of earthquakes of different energy classes. Established and confirmed previously identified and clearly marked the epicenters of earthquakes are confined to areas of high gradients of velocity components of the modern movement and derived strain rates.