УДК 620.1.08:53.08:629.12

ЮЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР В СИСТЕМЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО И ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА[1]

Бабешко В. А.[2]***, Калинчук В. В.***[3]

SOUTHERN SCIENTIFIC CENTER IN SYSTEM OF SEISMIC AND GEODYNAMIC MONITORING OF BLACK SEA REGION

Babeshko V. A., Kalinchuk V. V.

Information about basic researches in mathematic mechanic and seismology spheres that are carried out in Southern scientific centre of RAS is presented in this work. Prospects of creation International Seismic Safety Association (ISSA) are under discussing.

Keywords: Southern scientific centre, seismology, seismic safety, geodynamic monitoring, block structures, method of block elements, Organization Black Sea Economic Cooperation (BSEC), Association of Seismic Protection of Countries of BSEC (ASP-BSEC), International Seismic Safety Association (ISSA).

Южный научный центр РАН (ЮНЦ РАН) был создан в декабре 2002 года в соответствии с постановлением Президиума РАН от 10.12.2002 г. № 367 в целях организации и проведения научных исследований в интересах Юга России. С тех пор его бессменным председателем является академик Г. Г. Матишов, уделяющий большое внимание наукам о Земле. При создании предполагалось, что к деятельности Южного научного центра будут привлечены ученые и специалисты ведущих научных и образовательных учреждений Юга России. Именно это обстоятельство определило создание ряда академических подразделений на базе ведущих научных и образовательных учреждений Юга России. Одним из важнейших направлений деятельности Южного научного центра является проведение теоретических и экспериментальных исследований в области математики и механики с целью разработки перспективных методов эффективного прогнозирования и предупреждения сейсмических катастроф. В этом направлении создание отдела математики и механики ЮНЦ РАН на базе Кубанского государственного университета (КубГУ), проводившего и ранее работы в этой области, сыграло значительную роль в развитии сейсмологического направления в Южном научном центре РАН. Центр сейсмологических и вибросейсмических исследований в КубГУ был организован в 80-е годы. Базой центра является крупнейший на Юге России исследовательский геофизический полигон, основу которого составляют два стационарных 100-тонных вибросейсмоисточника отечественного производства, один 30-тонный и два 17-тонных передвижных вибросейсмоисточника производства США. В составе полигона имеются современные средства приема и обработки сейсмической информации (цифровые сейсмографы NX-48

[1]Отдельные фрагменты работы выполнены при поддержке грантов РФФИ 11-08-00381, программы Юг России, проекты РФФИ (11-08-96502-р_юг_а, 11-08-96503-р_юг_а, 11-08-96506-р_юг_а, 11-08-96504-р_юг_а, 11-08-96522-р_юг_а, 11-08-96505-р_юг_а), проекта НШ-914.2012.1, проекта ФЦП 2009-1.5-503-004-006, программ отделения ЭММПУ и Президиума РАН, выполняемых Южным научным центром РАН, государственного контракта от 1 сентября 2010 г. № 16.740.11.0135 в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013.

[2]Бабешко Владимир Андреевич, Бабешко Владимир Андреевич, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, заместитель Председателя Южного научного центра РАН по науке, директор Научно-исследовательского центра прогнозирования и предупреждения геоэкологических и техногенных катастроф Кубанского государственного университета; e-mail: babeshko@kubsu.ru.

[3]Калинчук Валерий Владимирович, д-р физ.-мат. наук, заведующий комплексным отделом механики, химии, физики и нанотехнологий Южного научного центра РАН; e-mail: kalin@ssc-ras.ru.

производства США), а также современная отечественная и зарубежная аппаратура для магнитотеллурического, гравитационного и электромагнитного, спутникового наземного и космического зондирования глубинного строения Земли. Оснастить полигон уникальным оборудованием позволила поддержка отечественных и зарубежных фондов, Российской академии наук, администрации Краснодарского края, КубГУ, американских ученых Университета Теннесси, нефтяных компаний «Тенгаско» (США), российско-американской компании АМД, компаний «Роснефть-Термнефть», Приазовнефть. Сочетание уникального оборудования и созданного современного математического аппарата позволило развернуть в КубГУ широкий спектр работ в области сейсмологии, результативность которых получила признание ученых-сейсмологов всего мира. О признании достижений ученых КубГУ свидетельствует проведение в 2000 и 2002 гг. сейсмологических конференций стран Организации Черноморского экономического сотрудничества. Ассоциация институтов сейсмологии США избрала КубГУ своим ассоциированным членом — единственный вуз России, что отражено на ее сайте (http://www.iris.edu). Центр коллективного пользования тяжелыми вибросейсмоисточниками КубГУ ежегодно демонстрируется Мининстерством образования и науки РФ на конференциях по развитию контактов между инфраструктурами Евросоюза и России в числе ведущих центров нашей страны. Разработанные в Центре математические модели демонстрируются не только на отечественных, но и на зарубежных сайтах, например, на сайте Европейской программы EPOS (http://rp7.ffg.at/eurussian_opendays).

В основе механического подхода к проблеме сейсмичности, развиваемой в ЮНЦ РАН и КубГУ, лежат фундаментальные результаты в области математики и механики. Теория блочных структур, разрабатываемая в КубГУ и ЮНЦ РАН, имеет ряд несомненных достоинств. Она позволяет строить представления решений краевых задач для систем дифференциальных уравнений в частных производных в произвольных областях в аналитическом виде. В основе этой теории лежит дифференциальный метод факторизации [1–9]. Этот метод долгое время не был замечен учеными, занимавшимися разработкой факторизационных подходов. Причина, возможно, состоит в том, что он потребовал привлечения современных методов математики (внешнего анализа, теории функций многих комплексных переменных, форм-вычетов Лере, факторизации матриц-функций нескольких комплексных переменных, теории представления групп). В его основе лежат тонкие свойства топологической алгебры, связанные с автоморфизмом топологических многообразий – нечасто используемым разделом математики. Параллельно с дифференциальным методом факторизации используется интегральный метод факторизации [10, 11]. Оба метода сопутствуют друг другу при исследовании и решении как краевых задач, так и интегральных уравнений и их систем. Теория блочных структур [7, 9, 12–16] позволила построить для исследования и решения краевых задач принципиально новый метод блочного элемента, позволяющий проводить математическое моделирование напряженно-деформированного состояния и динамических процессов в объектах сложной структуры. На рис. 1 представлены результаты расчетов, позволяющие прослеживать движение зон концентрации напряжений в земной коре и прогнозировать места и времена рисков возникновения землетрясений. Однако для того, чтобы сделать прогнозирование более действенным, необходимо своевременно корректировать параметры модели на основе результатов натурных экспериментальных исследований.

В последние годы ЮНЦ РАН был оснащен комплексом GPS-GLONASS антенн, предназначенных для геодинамического мониторинга движения литосферных плит — одного из ключевых моментов эффективного прогнозирования геодинамических процессов на Юге России. В первую очередь для прогнозирования сейсмических процессов в районе строительства олимпийских объектов г. Сочи. В структуре отдела математики и механики ЮНЦ РАН была организована лаборатория геодинамического мониторинга. В рамках развития сотрудничества между ЮНЦ РАН и КубГУ был создан совместный Сочи-Краснополянский полигон геодинамического мониторинга, расположенный в зоне строительства г. Сочи и пос. Красная Поляна. Схема полигона изображена на рис. 2. Звезды показывают места расположения GPS антенн. На рис. 3 и 4 представлены GPS-антенны – высокоточные GPS/GLONASS приемники для оценки медленных горизонтальных движений литосферных плит, ориентированные на 5 спут-

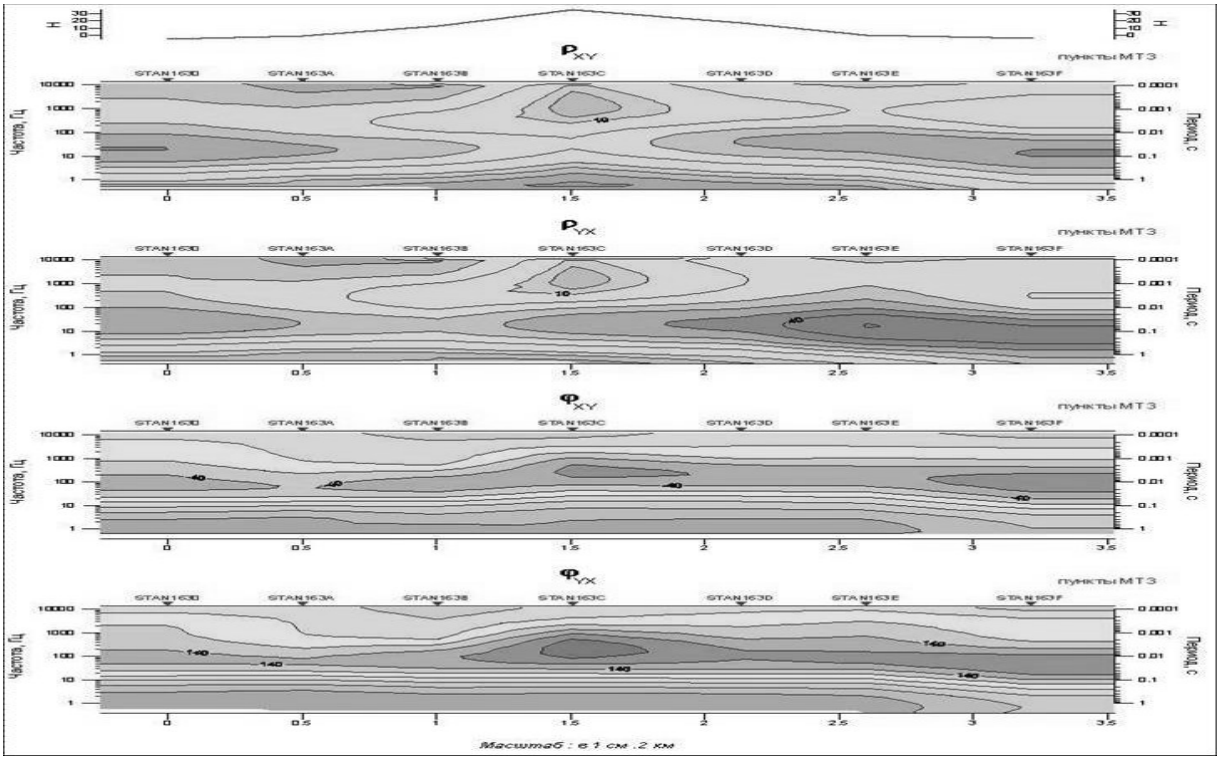

Рис. 1

ников и обеспечивающие точность местоположения в пределах 1–5 мм. Представленная на рис. 3 антенна установлена на горе Аигба, на рис. 4 — в поселке Магри. На рис. 5 приведены результаты геодинамического мониторинга движения литосферной плиты в период с октября 2010 по февраль 2011 г.

Созданный ЮНЦ РАН и КубГУ Сочи-Краснополянский полигон геодинамического мониторинга дает возможность проводить экспериментальные исследования и получать данные, необходимые для корректировки параметров модели сейсмических процессов в глубинах земной коры и верификации результатов прогнозных расчетов, что будет иметь важное значение для обеспечения безопасности жителей и гостей г. Сочи и пос. Красная Поляна, а также для успешного проведения Белой Олимпиады 2014 года.

Однако успешное решение проблемы сейсмической защиты того или иного региона, в данном случае Причерноморского, требует объединения усилий ученых сопредельных стран в проведении совместных экспериментов, обмене информацией геодинамического мониторинга, обмене опытом раннего прогнозирования землетрясений, поиске новых путей повышения информативности физических, химических, биологических и др. предвестников. Для реализации такого взаимодействия Россия уже в 2000 году выступила с инициативой создания Ассоциации сейсмической защиты стран-участников Черноморского экономического сотрудничества (ЧЭС). Организационное совещание-конференция с участием представителей 11 стран-участников Черноморского экономического сотрудничества состоялось в 2000 г. на базе КубГУ. На совещании был принят Устав Ассоциации, согласованный на уровне правительств этих стран, направленный на реализацию совместных исследований. В 2001 г. в г. Салоники (Греция) состоялось второе совещание, на котором обсуждался вопрос о месте размещения штаб-квартиры Ассоциации. Готовность разместить штаб-квартиру Ассоциации на своей территории высказали представители Армении, Греции и России. Участники совещания голосованием остановили выбор на Греции. Дальнейшее развитие событий показало, что это было ошибочное решение [17]. За прошедший с 2001 г. период Ассоциация по сейсмической защите стран ЧЭС так и не была активирована, равно как и не был решен вопрос о международной регистрации Ассоциации сейсмической защиты стран-участников ЧЭС, интерес к созданию которой проявили

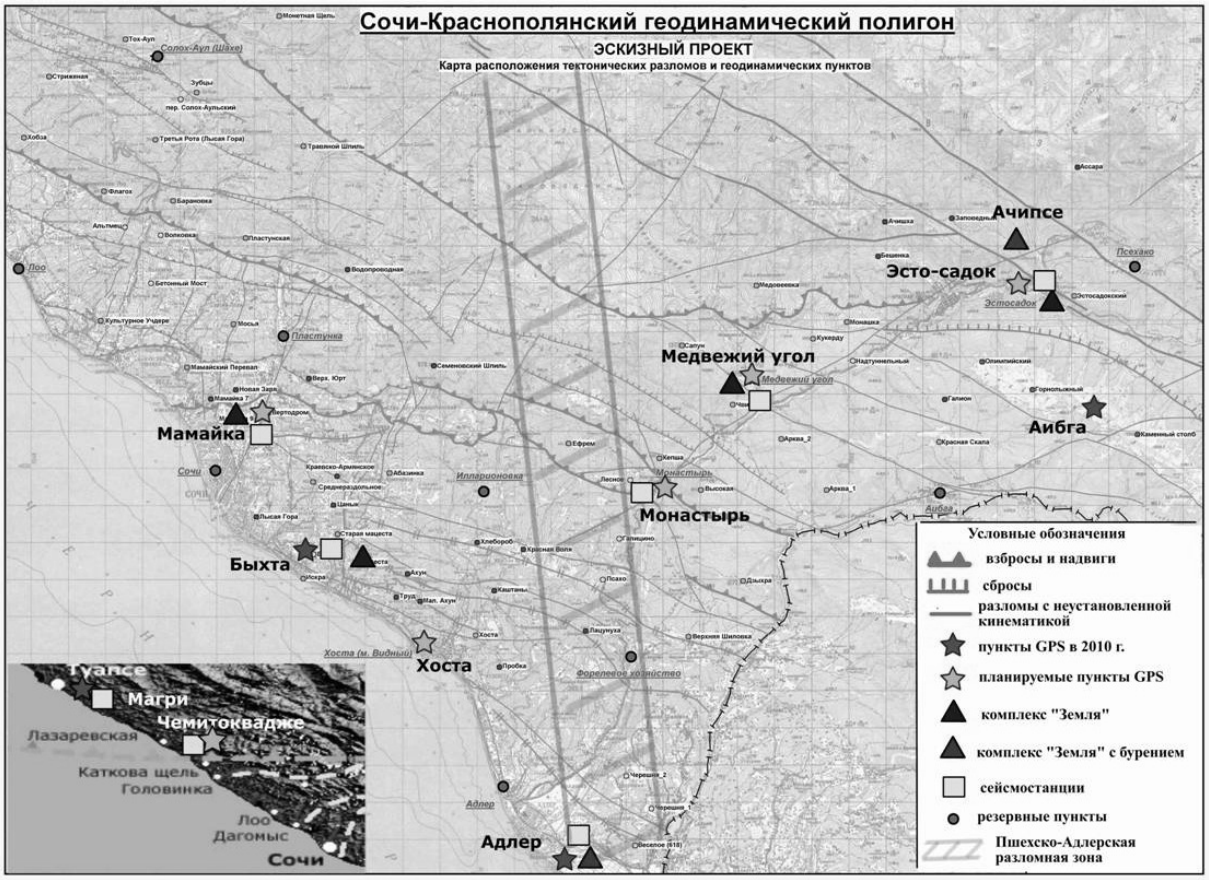

Рис. 2

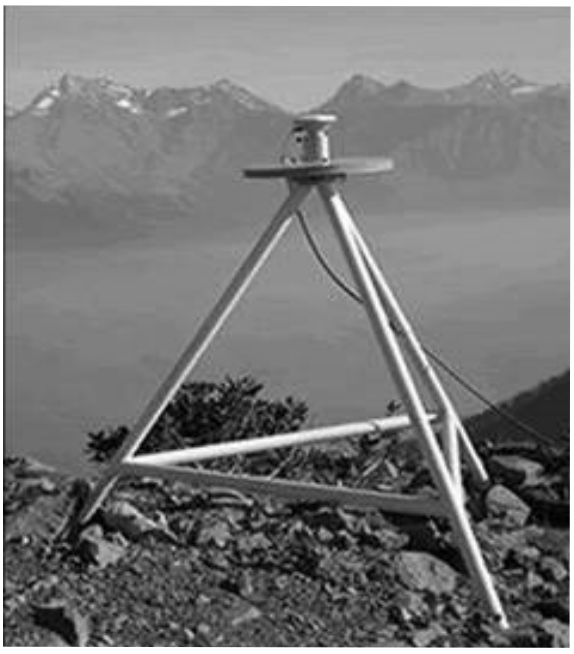

Рис. 3



Рис. 4

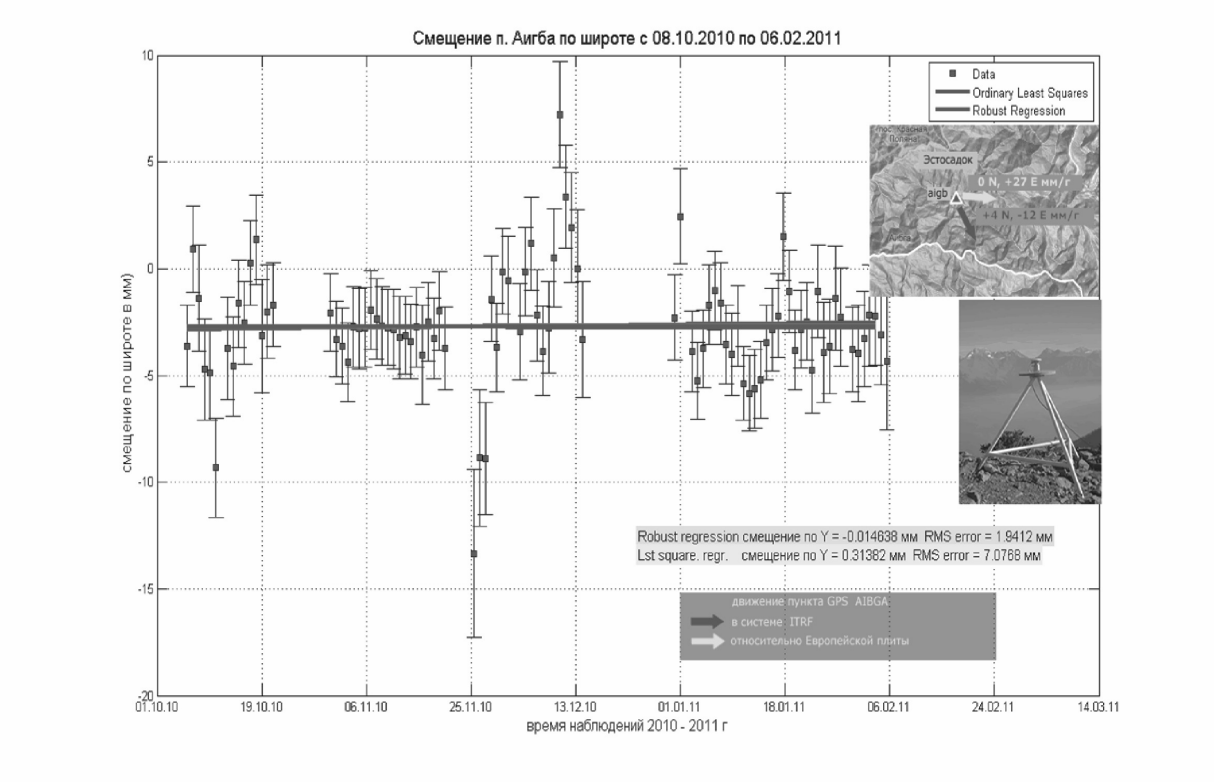

Рис. 5

различные организации многих стран мира, в том числе и Ассоциация институтов сейсмологии США. На состоявшемся в Бухаресте 6 июня 2011 г. заседании Совета министров иностранных дел стран ЧЭС Греческая Республика объявила о намерении прекратить деятельность так и не активированной Ассоциации сейсмической защиты стран ЧЭС (ASP-BSEC).

Разрушительные сейсмические события последнего времени в Причерноморье вновь напомнили о необходимости объединения усилий ученых сопредельных стран в проведении совместных экспериментов, в воплощении в жизнь новых идей в оценке сейсмичности.

28–30 ноября 2011 г. на базе Южного научного центра РАН состоялась международная конференция «Сейсмическая безопасность стран Причерноморского региона». Участники конференции в своих выступлениях еще раз подтвердили необходимость тесного международного научного сотрудничества по обмену информацией и координации исследований в сфере сейсмической безопасности и сейсмологии. Они поддержали предложение Южного научного центра РАН о создании международной организации – Ассоциации сейсмической безопасности (International Seismic Safety Association — ISSA). Это предложение нашло поддержку на состоявшемся 16 декабря 2011 г. в Москве заседании Совета министров иностранных стран Организации ЧЭС.

Предполагается, что основное направление деятельности Ассоциации будет связано с мониторингом зон концентрации напряжений в литосферных плитах, поскольку именно в моменты наложения двух и более зон концентрации могут возникать разрушительные землетрясения. Ниже приводится примерный проект программы [17] по реализации концепции создания Ассоциации сейсмической защиты.

Проект программы глобальных сейсмических исследований по оценке зон концентрации напряжений в литосферных плитах

1. Определение территории исследования, ее литосферной плиты.

2. Исследование геологии литосферной плиты территории.

3. Математическое описание геометрических параметров (характеристик) литосфер-

ной плиты территории. Создание электронных карт литосферной плиты.

4. Определение внешних воздействий на литосферную плиту территории.

5. Составление систем определяющих и граничных условий уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние литосферной плиты территории. Формирование краевых задач.

6. Исследование и решение краевых задач напряженно-деформированного состояния литосферной плиты территории.

7. Оценка зон концентрации напряжений в литосферной плите территории.

8. Разделение поверхности Земли на территории, подлежащие изучению.

9. Проведение исследований для каждой территории.

10. Объединение данных отдельных территорий в глобальную сеть. Уточнение параметров воздействий за счет сопряжения территорий.

11. Уточнение параметров напряженно-деформированного состояния литосферных плит территорий. Оценка зон концентрации напряжений.

Определение территории исследований, ее литосферной плиты

1. Оценка зон доступности для проведения геофизических и геологических исследований.

2. Изучение наличия дополнительной геологической, геофизической, гидрогеологической, магнитотеллурической и любой иной информации о выбираемой территории.

3. Оценка наличия средств мониторинга сейсмической обстановки выбираемой территории.

4. Наличие вспомогательных центров и населенных пунктов для размещения экспедиций с целью обследования территории.

5. Привязка выбранной территории к абсолютной системе координат.

Исследование геологии территории

1. Описание геологии территории с использованием имеющихся исследовательских материалов, полученных в различные временные периоды.

2. Описание тектонических особенностей территории.

3. Проведение геофизических экспедиционных исследований в зонах территории, нуждающихся в уточнениях.

4. Исследование геодезических характеристик территории.

5. Выявление зон блочного строения территории.

6. Исследование наличия глубинных неоднородностей литосферной плиты, разломов, полостей, включений.

7. Исследование наличия поверхностных концентраторов напряжений.

8. Описание физико-механических характеристик материалов, составляющих литосферную плиту.

Математическое описание геометрических параметров территории

1. Введение целесообразных глобальных и локальных систем координат, связанных с исследуемой территорией.

2. Привязка параметров территории к введенным системам координат.

3. Использование ГИС-технологий для получения и привязки составляющих территории: горных зон, возвышенностей, впадин, водоемов, — к системам координат.

4. Привязка внутренних неоднородностей литосферной плиты к введенным системам координат. Построение геометрических характеристик территории и всех ее неоднородностей в абсолютной системе координат.

5. Формирование ряда вспомогательных математических объектов — пространственных и объемлющих интегралов, нормалей и касательных, градиентов и других для различных зон территории.

Составление таблиц переходов в локальных координатах (атласа) территории. Определение внешних воздействий на территорию, влияющих на сейсмичность

1. Физическое, химическое и математическое описание факторов, влияющих на сейсмичность.

2. Гравитационное поле.

3. Предварительная напряженность.

4. Температурные напряжения.

5. Притяжение Луны.

6. Движение материков.

7. Атмосферное давление.

8. Ветровые давления на горы.

9. Солнечная активность.

10. Колебания морской акватории.

11. Активность верхней мантии (на границе Мохоровичича).

12. Внутреннее строение Земли, ее внутренние процессы.

13. Суточные колебания поверхности Земли.

14. Влияние химических факторов на состояние литосферной плиты.

15. Описание в математической форме с привязкой к выбранным системам координат основных уравнений и соотношений, влияющих на сейсмичность.

16. Приведение всех параметров к единой физической системе единиц.

17. Учет медленных движений литосферных плит на основе спутниковых данных.

Составление систем определяющих уравнений и граничных условий, описывающих напряженно-деформированное состояние территории. Формирование краевых задач

1. Математическое описание в формах дифференциальных, псевдодифференциальных и интегральных уравнений основных соотношений, определяющих налряженно-деформированное состояние литосферной плиты территории.

2. Переход к унифицированным безразмерным параметрам.

3. Формирование краевых задач различных уровней сложности для описания напряженно-деформированного состояния литосферной плиты территории.

4. Оценка различных вариантов приближения к описанию напряженно-деформированного состояния литосферной плиты территории выбором различных краевых задач.

Исследование и решение краевых задач напряженно-деформированного состояния литосферной плиты территории

1. Разработка схем исследования наборов краевых задач описания напряженно-деформированного состояния литосферной плиты территории. Оценка напряженности краевых задач.

2. Апробирование различных методов исследования и решения краевых задач. Модельные задачи и пробные расчеты.

3. Исследование и решение краевых задач напряженно-деформированного состояния литосферной плиты территории.

4. Оценка роли различных факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние плиты территории, а также различных вариантов краевых задач.

Оценка зон концентрации напряжений в литосферной плите

1. Анализ концентрации напряжений в окрестностях неоднородностей — разломов, «вирусов вибропрочности», полостей-трещин и включений, в зонах вулканических шахт.

2. Анализ концентрации напряжений в окрестностях поверхностных концентраторов напряжения и угловых разломов.

3. Анализ концентрации напряжений в зонах утончения литосферных структур.

4. Выявление зон максимальной концентрации напряжений.

5. Выявление внешних факторов, наиболее влияющих на концентрацию напряжений.

Заключение

Подключение потенциала Российской академии наук в форме создания отдела математики и механики ЮНЦ РАН в КубГУ позволила в значительной мере усилить научный потенциал и интенсифицировать проведение исследований в области сейсмологии, создать наиболее развитый и продвинутый на Юге России Центр сейсмологических исследований. Ученые Евросоюза склонны осваивать опыт КубГУ и ЮНЦ РАН и пригласили ученых Центра на первую подготовительную конференцию по программе EPOS, которая состоится в Праге 19–21 марта 2012 г. Программа нацелена на объединение ученых разных стран с целью охвата сейсмологической информацией всей территории Земли, чего добивались многие годы КубГУ и ЮНЦ РАН, и что уже реализуется в одном из наших проектов.

Оптимальное сочетание глубоких математических методов с возможностями использования геофизического оборудования позволяет Южному научному центру РАН

занять уникальные позиции в системе сейсмического и геодинамического мониторинга Причерноморского региона.

Литература

1. *Бабешко В. А., Бабешко О. М.* Метод факторизации в теории вирусов вибропрочности // ДАН. 2003. Т. 393. № 4. С. 473–477.
2. *Бабешко В. А., Бабешко О. М.* Метод факторизации решения некоторых краевых задач // ДАН. 2003. Т. 389. № 2. С. 184–188.
3. *Бабешко В. А., Бабешко О. М.* Метод факторизации в краевых задачах в неограниченных областях // ДАН. 2003. Т. 392. № 6. С. 767–770.
4. *Бабешко В. А., Бабешко О. М.* Обобщенная факторизация в краевых задачах в многосвязных областях // ДАН. 2003. Т. 392. № 2. С. 163–167.
5. *Бабешко В. А., Бабешко О. М.* О методе факторизации в краевых задачах для сплошных сред // ДАН. 2004. Т. 399. № 3. С. 63–68.
6. *Бабешко В. А., Бабешко О. М.* Формулы факторизации некоторых мероморфных матриц-функций // ДАН. 2004. Т. 399. № 1. С. 163–167.
7. *Бабешко В. А., Евдокимова О. В., Бабешко О. М.* Дифференциальный метод факторизации в блочных структурах и наноструктурах // ДАН. 2007. Т. 415. № 5. С. 596–599.
8. *Евдокимова О. В., Бабешко О. М., Бабешко В. А.* О дифференциальном методе факторизации в неоднородных задачах // ДАН. 2008. Т. 418. № 3. С. 321–323.
9. *Бабешко В. А., Евдокимова О. В., Бабешко О. М. и др.* Дифференциальный метод факторизации для блочной структуры // ДАН. 2009. Т. 424. № 1. С. 36–39.
10. *Бабешко В. А., Бабешко О. М., Евдокимова О. В.* Об интегральном и дифференциальном методах факторизации // ДАН. 2006. Т. 410. № 2. С. 168–172.
11. *Бабешко В. А., Евдокимова О. В., Бабешко О. М.* Интегральный метод факторизации в смешанных задачах для анизотропных сред // ДАН. 2009. Т. 426. № 4. С. 471–475.
12. *Бабешко В. А., Бабешко О. М., Евдокимова О. В.* К теории блочного элемента // ДАН. 2009. Т. 427. № 2. С. 183–186.
13. *Бабешко В. А., Бабешко О. М., Евдокимова О. В.* О проблеме блочных структур академика М.А. Садовского // ДАН. 2009. Т. 427. № 4. С. 480–485.
14. *Бабешко В. А., Бабешко О. М., Евдокимова О. В.* О пирамидальном блочном элементе // ДАН. 2009. Т. 428. № 1. С. 30–34.
15. *Бабешко В. А., Бабешко О. М., Евдокимова О. В.* О блочном элементе в форме произвольной треугольной пирамиды // ДАН. 2009. Т. 429. № 6. С. 758–761.
16. *Евдокимова О. В.* Дифференциальный метод факторизации в неоднородных и нестационарных задачах // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2007. № 2. С. 51–55.
17. *Бабешко В. А.* О некоторых проблемах механики в сейсмологии // В кн. «Актуальные проблемы механики» под ред. академика Ф. Л. Черноусько. М.: Наука, 2011. С. 52–80.

Ключевые слова: Южный научный центр, сейсмология, сейсмическая безопасность, геодинамический мониторинг, блочные структуры, метод блочных элементов, Организация Черноморского экономического сотрудничества (ЧЭС), Ассоциация сейсмической защиты стран ЧЭС (АСЗ ЧЭС), Международная ассоциация сейсмической безопасности (МАСБ).

Статья поступила 27 января 2012 г.
Кубанский государственный университет, г. Краснодар
Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону
© Бабешко В. А., Калинчук В. В., 2012