



КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ЮЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ
И ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

С И С Т Е М А

«««« СЕЙСМОЗОНА-1 »»»»

Краснодар
Ростов-на-Дону
2026

УДК 539.3, 550.3
ББК 26.2
Б12

Авторы:

Владимир Андреевич БАБЕШКО, заведующий кафедрой математического моделирования КубГУ, научный руководитель направления ЮНЦ РАН, доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН

Валерий Владимирович КАЛИНЧУК, заведующий отделом ЮНЦ РАН, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН

Бабешко, В.А., Калинин, В.В.

Б12 Система «СЕЙСМОЗОНА-1»: исследования сейсмичности и прогноза землетрясений / В.А. Бабешко, В.В. Калинин. Краснодар; Ростов-на-Дону: Издательство Кубанского гос. ун-та, 2026. — 48 с.

Учебно-научно-информационное пособие предназначено тем, кто желает ознакомиться, изучить или применять методы строгого механико-математически обоснованного подхода для прогноза состояния сейсмичности территорий, а также изучить новые математические методы и способы моделирования, применимые в разных областях инженерной практики, технической физики, экологии.

Информацию о сотрудничестве по вопросам применения системы «СЕЙСМОЗОНА-1», необходимому обучению и развертыванию на новых территориях можно получить по адресам:

350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149. Кубанский государственный университет. Сейсмостанция КубГУ. E-mail: muhin@kubsu.ru

344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, ЮНЦ РАН, отдел механики, математики и нанотехнологий. E-mail: valcpvg@mail.ru

УДК 539.3, 550.3
БК 26.2

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки, в рамках госзадания КубГУ (проект FZEN-2023-0006), гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда (региональный проект 24-11-20006), госзадания ЮНЦ РАН (№ госрегистрации 01201354241, 122020100341-0, 125011200152-6).

© КубГУ, 2026
© ЮНЦ РАН, 2026

ИСПОЛНИТЕЛИ

Владимир Андреевич Бабешко,

заведующий кафедрой математического моделирования КубГУ,
научный руководитель направления ЮНЦ РАН,
доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН

Валерий Владимирович Калинин,

заведующий отделом ЮНЦ РАН,
доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН

Валерий Леонидович Шестопалов,

ведущий научный сотрудник ЮНЦ РАН,
доктор физико-математических наук

Алла Владимировна Павлова,

профессор кафедры математического моделирования КубГУ,
доктор физико-математических наук

Ольга Владимировна Евдокимова,

заведующая лабораторией ЮНЦ РАН,
доктор физико-математических наук

Ольга Мефодиевна Бабешко,

главный научный сотрудник КубГУ,
доктор физико-математических наук

Алексей Сергеевич Мухин,

заведующий сейсмологической лабораторией КубГУ,
кандидат физико-математических наук

Илья Сергеевич Телятников,

старший научный сотрудник ЮНЦ РАН,
кандидат физико-математических наук

Владимир Сергеевич Евдокимов,

инженер научно-исследовательской части КубГУ

СОДЕРЖАНИЕ

О СИСТЕМЕ «СЕЙСМОЗОНА-1»	5
Раздел 1. МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМЫ «СЕЙСМОЗОНА-1» ...	11
1.1. Геодинамический мониторинг	11
1.2. Исследование глубинного строения Земли вибросейсмическими средствами.....	13
1.3. Магнитотеллурическое исследование глубинного строения Земли.....	19
Раздел 2. МОДЕЛЬ СТАРТОВОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ	20
2.1. Контактные напряжения под литосферными плитами.....	20
2.2. Реализация механизма землетрясения по типу стартового	21
2.3. Исследование субдукции Черноморской плиты под литосферную плиту суши	22
Раздел 3. СЕТЬ СПУТНИКОВЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПУНКТОВ GPS/ГЛОНАСС ЮНЦ РАН	23
3.1. Оснащение сети и методы обработки информации	23
3.2. Состав и структура сети	30
3.2.1. СГП «Адлер»	31
3.2.2. СГП «Сочи».....	32
3.2.3. СГП «Эсто-Садок».....	33
3.2.4. СГП «Лесное»	34
3.2.5. СГП «Анапа»	35
3.2.6. СГП «Геленджик»	37
3.2.7. СГП «Темрюк».....	38
3.2.8. СГП «Порт-Кавказ».....	39
3.2.9. СГП «Таврида»	40
3.2.10. СГП «Тамань»	42
3.2.11. СГП «Аибга».....	43
Раздел 4. Математическая база системы «СЕЙСМОЗОНА-1»	45
4.1. Метод блочного элемента	45
4.2. Методы исследования состояния сейсмичности территорий системой «СЕЙСМОЗОНА-1»	46



О СИСТЕМЕ «СЕЙСМОЗОНА-1»

Система «СЕЙСМОЗОНА-1» была создана в 2013 г. для обеспечения сейсмической безопасности Олимпиады-2014. «СЕЙСМОЗОНА-1» реализует новый подход обеспечения сейсмобезопасности, отличный от использованного во время проведения Ванкуверской Олимпиады и обеспечивший ее превосходство над известными системами.

Особенность системы заключается в том, что с ее помощью возможно не только прогнозировать землетрясения в сейсмоопасных регионах, но и исследовать текущее состояние сейсмичности территорий. Благодаря «СЕЙСМОЗОНЕ-1» стало возможным успешно осуществлять наблюдения за сейсмичностью, основываясь на новых подходах, не имеющих аналогов в мире.

Новые возможности в решении проблемы оценки рисков геодинамических процессов появились в результате создания авторами разработки в 2009 г. нового метода моделирования — метода блочного элемента, применяемого в том числе для механико-математического мониторинга сложно построенных структур литосферы. Именно благодаря использованию этого метода, сразу после Олимпиады, в 2016 г. был открыт новый, ранее не описанный тип землетрясений — стартовых. Полученные результаты открыли широкие возможности развития математических методов изучения и анализа практически всех типов континентальных сейсмоопасных территорий.

Система «СЕЙСМОЗОНА-1» предполагает наличие стационарных и мобильных GPS/ГЛОНАСС приемников для получения информации о медленных движениях поверхности Земли, сейсмостанции; средств глубинного исследования Земли (предпочтительно гравиметра, наклономера, магнитотеллурической станции); вибросейсмического источника, а также средств обработки вибросейсмической информации.

Функционирование системы «СЕЙСМОЗОНА-1» осуществляется по определенной технологии и в диалоговом режиме с операторами. Теоретическую основу ее работы составляет математическое и компьютерное моделирование, включающее применение нового метода моделирования — метода блочного элемента и современных результатов исследования в области сейсмологии, в том числе свойств стартовых землетрясений.

Схема применяемой технологии включает следующие шаги:

- Одним из стационарных GPS/ГЛОНАСС-приемников обнаруживается нетрадиционное изменение тренда перемещений поверхности Земли.
- Мобильная служба системы «СЕЙСМОЗОНА-1», используя этот стационарный приемник, специальным образом располагает мобильными GPS/ГЛОНАСС-приемниками (до 12 ед.). С их помощью определяется пространственное распределение подвижек поверхности Земли в окрестности указанного стационарного приемника, которое включает пространственную дилатацию от глубинного источника растущих напряжений.
- Изучается вопрос о пространственной протяженности этой зоны. Далее на основе информации о пространственной дифференциации движений земной поверхности и данных глубинного исследования Земли проводится исследование сейсмичности территории. На этом этапе применяется метод блочного элемента, а также другие методы изучения стартовых и коровых землетрясений и дилатантных зон в сочетании с компьютерным моделированием. Рассматриваемые математические модели описываются нестационарными контактными задачами.

Целью исследования является определение временной динамики деформаций, связанных с явлением дилатации, что позволяет оценивать сейсмичность. В результате делается заключение о возможности сейсмического события.

Функционирующая на территории юга Краснодарского края система «СЕЙСМОЗОНА-1» позволила предсказать повышение сейсмичности и последующее землетрясение магнитудой 4,4, произошедшее 13.02.2025 с эпицентром в районе поселка Лесное (широта: 43,83; долгота: 39,70) вблизи Сочи.

На сегодняшний день, как следует из многочисленных публикаций, существует около 800 различных методик прогноза землетрясений, ни одна из которых не позволяет получить надежный прогноз сейсмического события.

Создавая систему «СЕЙСМОЗОНА-1», авторы опирались на строгие механико-математические методы и фундаментальные результаты наших геофизиков, ставшие сегодня определяющими при анализе условий подготовки и развития разномасштабных сейсмических катастроф, решив не изученные ранее задачи, сформулированные выдающимися отечественными учеными-академиками Г.А. Гамбурцевым и М.А. Садовским, в разное время возглавлявшими Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Академии наук СССР. Система «СЕЙСМОЗОНА-1» создавалась с учетом современных достижений в области

прогнозирования землетрясений, полученных в Японии, США, Италии, Греции и других странах, расположенных в сейсмоопасных зонах.

Высокая сложность и степень неопределенности механизмов и пространственно-временной закономерности геодинамических процессов вынуждают к поиску новых методов оценки сейсмической опасности. В системе «СЕЙСМОЗОНА-1» исключены недоработки, выявленные в известных зарубежных подходах к оценке сейсмичности и прогнозу землетрясений.

К числу недоработок в области сейсмологии авторы относят преимущественное использование одного лишь вероятностного подхода в прогнозе землетрясений, применяющегося в большинстве стран, и стационарное использование GPS/ГЛОНАСС-приемников для получения параметров подвижек поверхности Земли с помощью спутниковой геодезии без должного глубокого математического анализа результатов в сочетании с анализом данных геофизических экспериментов. Для этого существуют объективные причины: отсутствие современных математических методов исследования в сейсмологии, математике и механике, при этом вероятностные методы полностью исследованы в блестящих работах лауреата Нобелевской премии академика Л.В. Канторовича. Кроме того, известные подходы исследования и прогноза сейсмичности нередко опираются на морфоструктурную организацию рельефа, процессы развития которой характеризуются высокой степенью неопределенности, что затрудняет прогнозирование сейсмической опасности известными статистическими методами.

Авторами разработки созданы новые, до сих пор не освоенные за рубежом исследовательские методы. Подтверждением уникальности системы «СЕЙСМОЗОНА-1» являются следующие достижения:

- обнаружение ранее не описанного типа землетрясений, названных стартовыми, которые можно прогнозировать,
- обнаружение нового типа трещин, дополняющих трещины Гриффитса, описанные более ста лет назад, модели которых применимы в машиностроении, геотехнологиях, наноматериалах, в материаловедении, при исследованиях конструкционных свойств современных анизотропных композитов и т.д.

М.А. Садовский выдвинул концепцию о блочном строении коры Земли, приведя убедительные примеры такого строения, однако математическая теория деформируемых блочных структур до недавнего времени отсутствовала. Авторы впервые в мире создали теорию метода блочного элемента, значительно продвинувшего различные разделы математики, механики, сейсмологии. Отмеченное М.А. Садовским фундаментальное свойство отдельностей земной коры находит свое отражение в структуре дифференциальных и интегральных уравнений, используемых при построении математических моделей и при последующем анализе разномасштабных движений

разломно-блоковых структур литосферы. В связи со сложной теорией, требующей применения математики высокого уровня, метод блочного элемента за рубежом практически не используется.

При создании системы «СЕЙСМОЗОНА-1» для прогнозирования землетрясений реализовано предложение Г.А. Гамбурцева о необходимости применения методов механики прочности и разрушения. В системе «СЕЙСМОЗОНА-1» используются решения контактной задачи, моделирующей встречное движение литосферных плит по границе Конрада до полного сближения, полученные методом блочного элемента. Доказано, что сблизившиеся торцами, но не взаимодействующие литосферные плиты в зоне сближения имеют разрушительные сингулярные контактные напряжения, вызывающие прогнозируемое землетрясение, названное стартовым. Уместно сказать, что ни один численный метод не смог выявить этот результат. Значительное расширение средств теоретического исследования глубинного строения блочной структуры Земли позволило усилить и экспериментальную составляющую. Впервые была введена, наряду с дежурной стационарной экспериментальной службой GPS/ГЛОНАСС-приемников, также и мобильная составляющая, оснащенная не только приемниками, но и набором средств исследования глубинного строения Земли. Метод блочного элемента позволил решить весь комплекс проблем, относящихся к механике блочных структур, благодаря чему удалось впервые эффективно связать теоретические исследования с экспериментальными и получить информацию о динамике поверхности Земли от GPS/ГЛОНАСС-приемников, а также данные о глубинном строении Земли — от аппаратных измерений мобильной службы системы и при расчете необходимых параметров процесса теоретически.

В результате этих построений система «СЕЙСМОЗОНА-1» стала не только единственной в мире службой наблюдения за состоянием сейсмичности территории, но и недостижимой (в связи с обилием ноу-хау при ее реализации) для случаев попыток иных исследователей повторить ее или усовершенствовать. Результатом службы этой системы является прогноз землетрясения магнитудой 4,4 балла, произошедшего 13.02.2025 с эпицентром в районе поселка Лесное (широта: 43,83; долгота: 39,70), вблизи Сочи, предсказанному по одному из критериев системы «СЕЙСМОЗОНА-1».

МОТИВАЦИЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ «СЕЙСМОЗОНА-1»

Актуальность темы исследований. Устойчивое развитие Азово-Черноморского региона России требует учета сейсмических и геодинамических рисков. Это особенно актуально для Сочинской, Анапо-Новороссийской

и Керченской сейсмоактивных зон, где растёт плотность населения, возведены сооружения олимпийского комплекса, построен транспортный переход через Керченский пролив, наращиваются мощности портовых сооружений и трубопроводов.

Основные цели работы — разработка математических моделей, экспериментальной базы и создание математического обеспечения для выявления механических предвестников землетрясений, в том числе стартовых, в сейсмо-активных зонах Азово-Черноморского побережья Российской Федерации (рис. 1). Согласно классической модели, землетрясения вызваны движением и деформацией пород. Существующие подходы лишь фиксируют рост напряжений при сближении плит, но не обеспечивают полного анализа их взаимодействия. Возникла необходимость создания новых методов в сейсмологии, поскольку обнаружилось ограничения численного моделирования.

Сейсмическая и геодинамическая активность может вызвать аварии на инженерных объектах, в том числе на объектах особой важности: тоннелях, причалах, трубопроводах, нефтехранилищах. Наблюдения показали, что 80 % всех аварий трубопроводов происходят на местах с высокой геодинамической активностью (рис. 2).

Научная новизна. Методом блочного элемента, разработанным академиком РАН В.А. Бабешко, исследована модель литосферных плит в виде пластин Кирхгофа, которые движутся навстречу друг другу на упругом полупространстве. Стартовое землетрясение происходит в результате резкого увеличения концентрации напряжений в определенной зоне по сравнению с обычным состоянием (рис. 3).



Рис. 1. Сейсмическая балльность Азово-Черноморского побережья России по шкале ОСР-97А



Рис. 2. Подъем морского дна с выходом на поверхность в районе побережья Таманского полуострова в 2011 г.

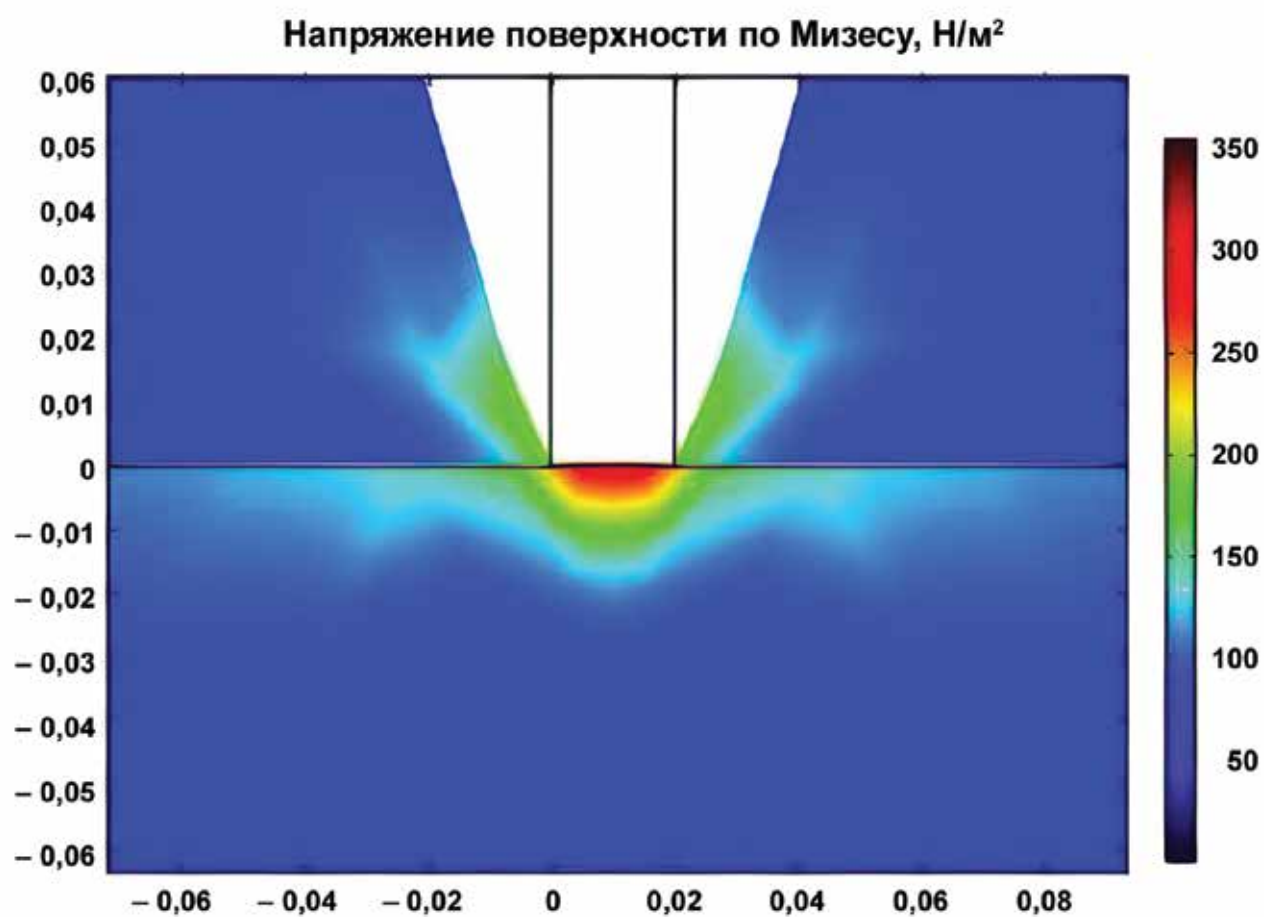


Рис. 3. Пример расчета напряжений поверхности по Мизесу методом конечного элемента

1 МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМЫ «СЕЙСМОЗОНА-1»

1.1. ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Основным компонентом системы «СЕЙСМОЗОНА-1» является развернутая в Причерноморском регионе РФ сеть спутниковых GPS/ГЛОНАСС-антенн. На рис. 4–5 представлены различные образцы стационарных GPS/ГЛОНАСС высокоточных приемников и образцы мобильных спутниковых GPS/ГЛОНАСС-средств исследования, использующихся в системе «СЕЙСМОЗОНА-1».

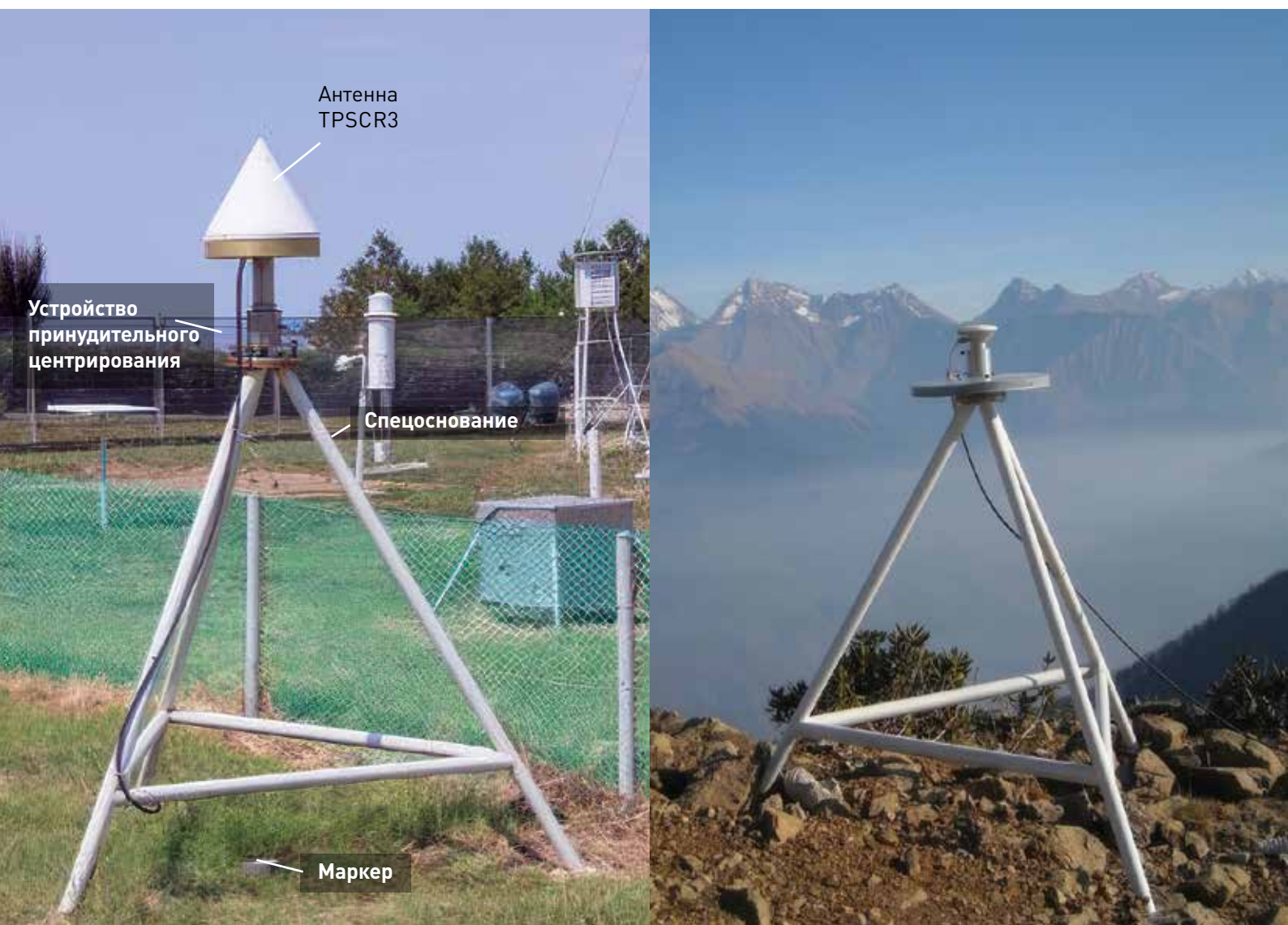


Рис. 4. Стационарные высокоточные спутниковые GPS/ГЛОНАСС-антенны



Рис. 5. Мобильные средства исследования. Двенадцать мобильных GPS-приемников, готовых для установки на треноги для работы

1.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМЛИ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

Различные типы вибросейсмоисточников большой мощности, предназначенные для проведения вибрационного зондирования глубинного строения Земли



Рис. 6а. Вибросейсмоисточник А-1100 мощностью 20 тонн



Рис. 6б. Вибросейсмоисточник Y-3000 мощностью 30 тонн

Вибросейсмоисточники — это управляемые сейсмические источники, предназначенные для возбуждения упругих волн в грунте при проведении сейсморазведочных и инженерно-геофизических работ.

В отличие от взрывных источников, они создают колебания за счёт контролируемого механического воздействия на поверхность земли с заданным частотным и временным законом, обычно в виде частотно-модулированного сигнала, что позволяет точно задавать энергетические и спектральные характеристики возбуждаемых волн.

Основными преимуществами вибросейсмоисточников являются высокая повторяемость сигналов, возможность накопления энергии за счёт корреляционной обработки, а также экологическая и технологическая безопасность.



Рис. 6в. Полигон КубГУ

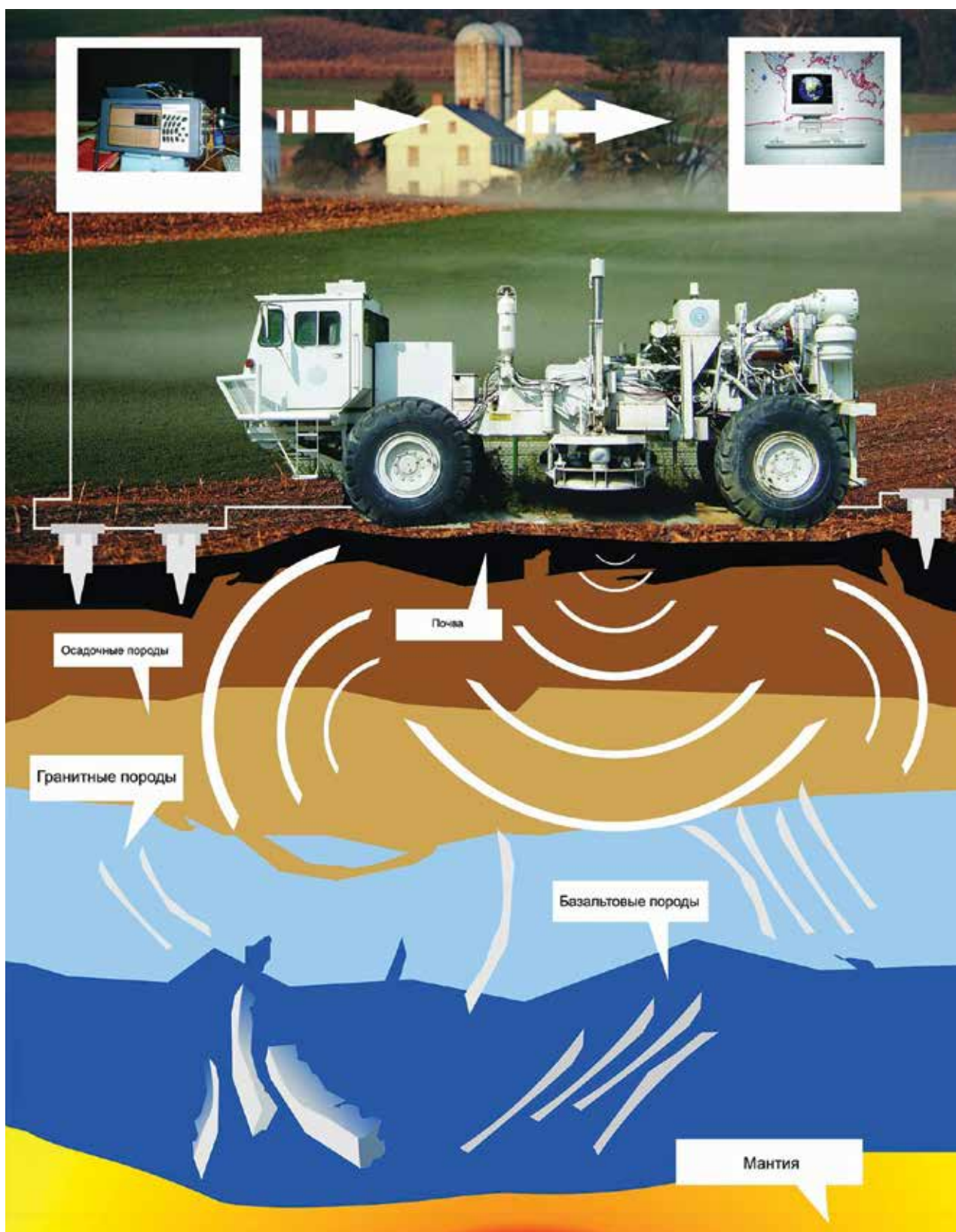


Рис. 7. Схема вибрационного зондирования глубинного строения Земли

Сопоставление сейсмограмм 10- и 30-тонных вибросейсмоисточников.
Образцы типичных сейсмограмм от действия вибрационных сейсмоисточников
различной мощности.

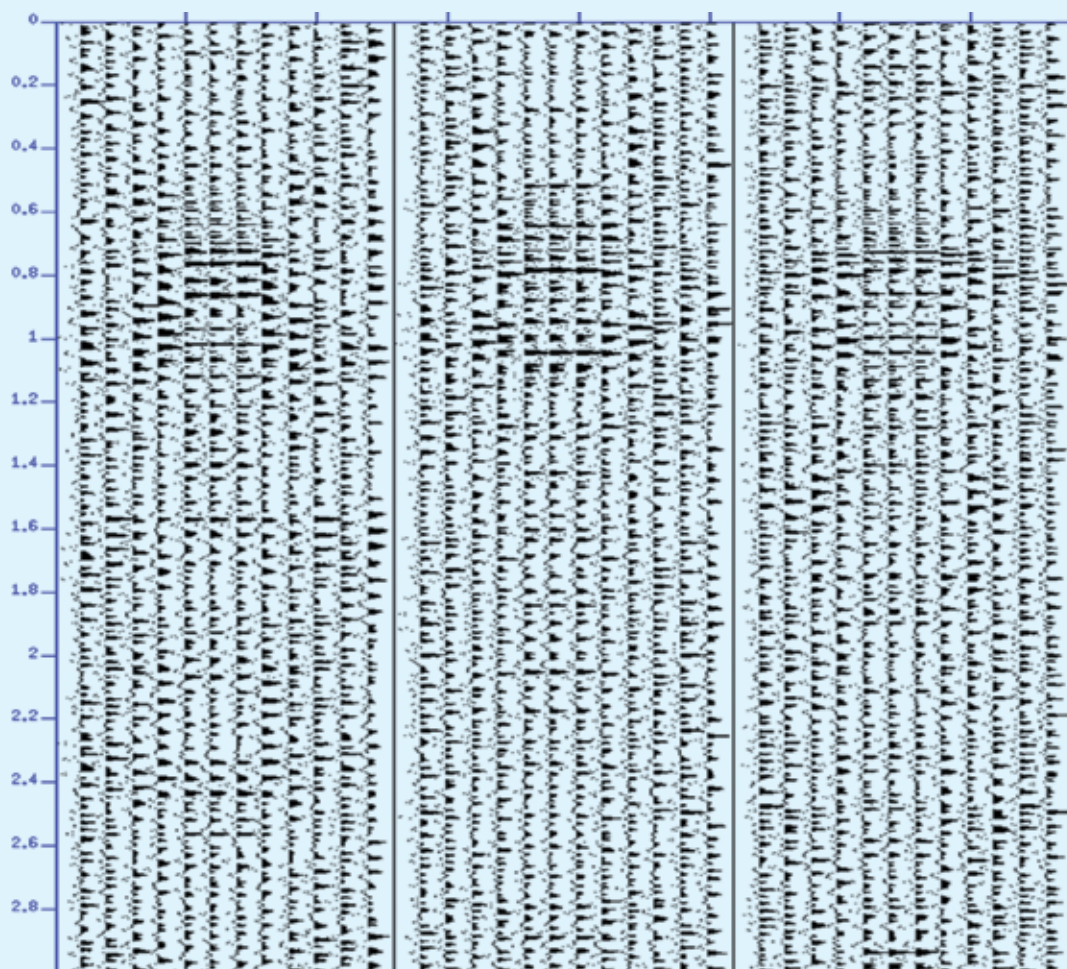


Рис. 8а

Графики иллюстрируют связь между разрешающей способностью сейморазведки и мощностью сеймовиброисточника

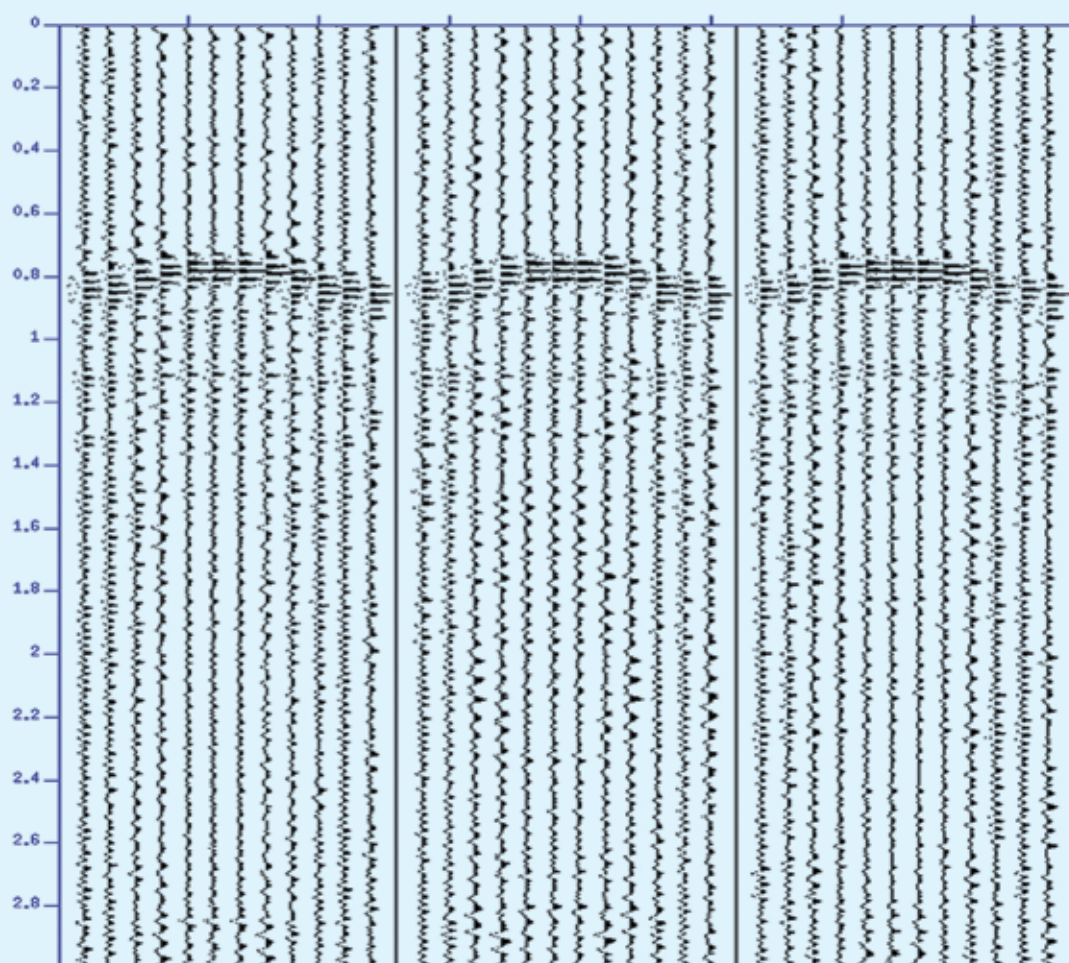


Рис. 86



Рис. 9. Полигон КубГУ.
Процесс вибрационного
воздействия сейсмоисточника
на грунт с целью возбуждения
сейсмических волн для
просвечивания Земли



Рис. 10. Портативные средства обработки геофизической информации, поступающей
от действия вибросейсмоисточников "Geometrics"

1.3. МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМЛИ

Аппаратура магнитотеллурического исследования глубинного строения Земли и результаты обработки электрогеофизической информации



Рис. 11. Станция магнитотеллурического исследования глубинного строения Земли

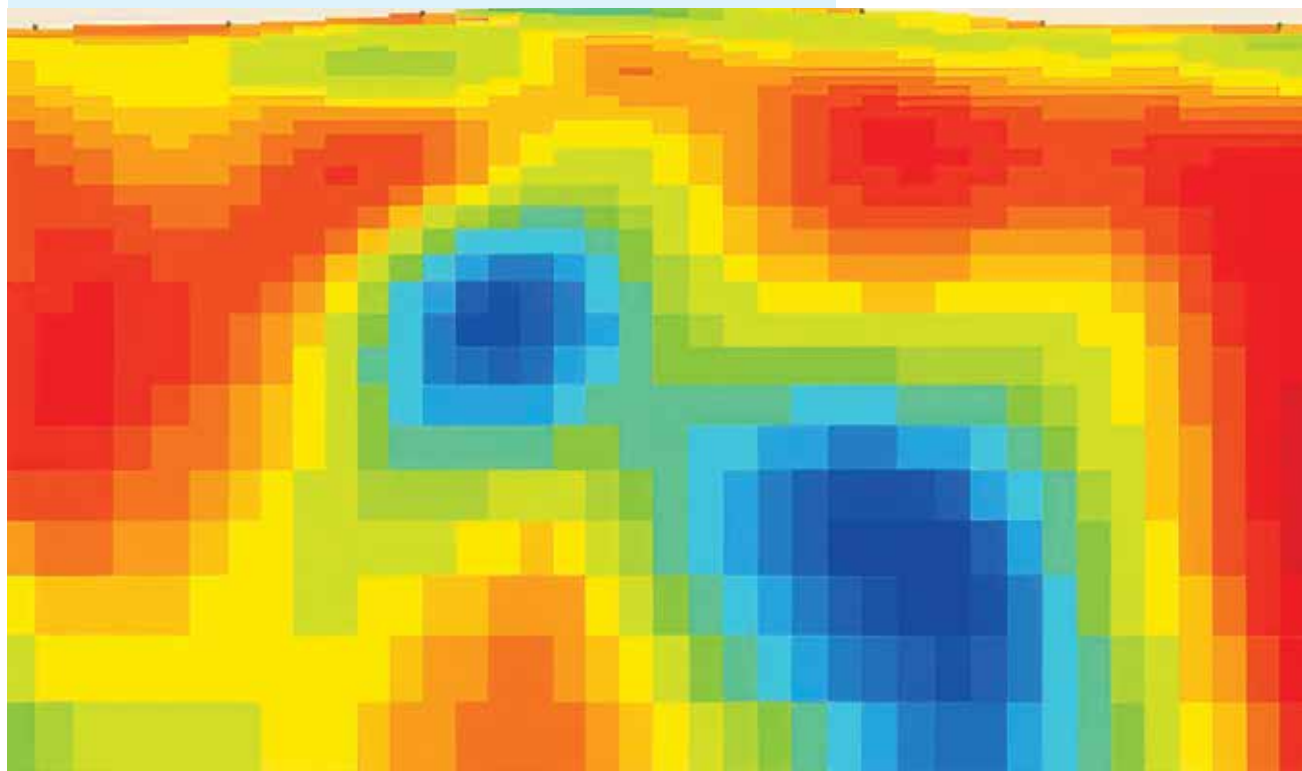
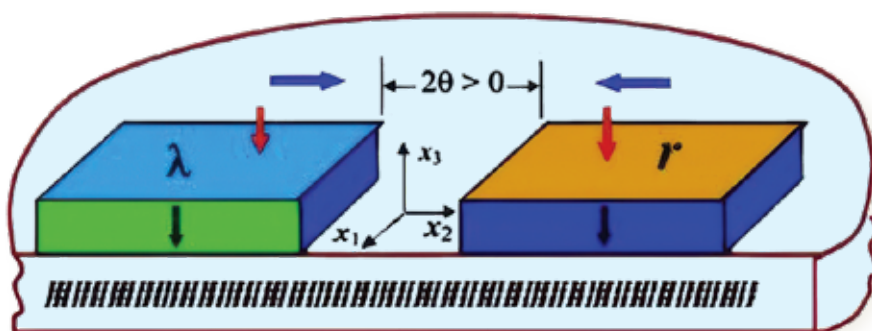


Рис. 12. Обработка электрогеофизической информации и построение блочной структуры глубинного строения Земли

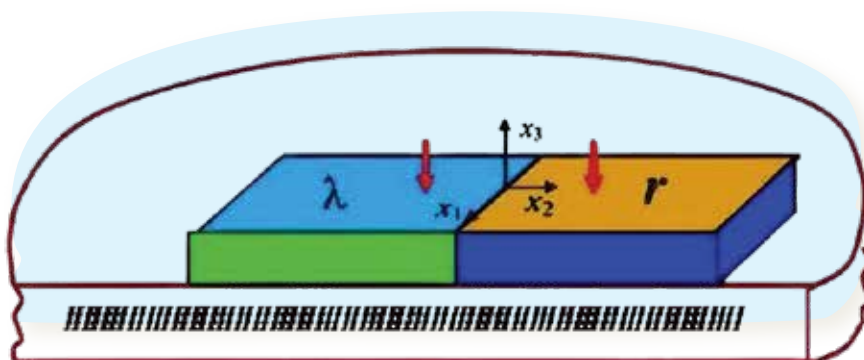
2 МОДЕЛЬ СТАРТОВОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

2.1. КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПОД ЛИТОСФЕРНЫМИ ПЛИТАМИ



$$\begin{aligned} g_{3\lambda}(x_1, x_2) &= \sigma_{1\lambda}(x_1, x_2)(-x_2 - \theta)^{-1/2}, \quad x_2 < -\theta \\ g_{3r}(x_1, x_2) &= \sigma_{1r}(x_1, x_2)(x_2 - \theta)^{-1/2}, \quad x_2 > \theta \end{aligned} \quad (1)$$

Рис. 13. Схема движения литосферных плит в условиях $2\theta > 0$: литосферные плиты еще не сблизилась, напряженное состояние описывается формулой (1), землетрясение не возникает



$$\begin{aligned} g_{3\lambda}(x_1, x_2) &\rightarrow \sigma_{2\lambda}(x_1, x_2)x_2^{-1} + \sigma_{3\lambda}(x_1, x_2)\ln|x_2| + \sigma_{4\lambda}(x_1, x_2)\operatorname{sgn} x_2, \\ g_{3r}(x_1, x_2) &\rightarrow \sigma_{2r}(x_1, x_2)x_2^{-1} + \sigma_{3r}(x_1, x_2)\ln|x_2| + \sigma_{4r}(x_1, x_2)\operatorname{sgn} x_2 \end{aligned} \quad (2)$$

Рис. 14. Схема движения литосферных плит в условиях $2\theta = 0$: литосферные плиты сблизилась, напряженное состояние описывается формулой (2), возникает стартовое землетрясение

2.2. РЕАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПО ТИПУ СТАРТОВОГО

Доказана идентичная динамика изменения напряженности, полученная в рамках теоретической модели и подтвержденная данными GPS-измерений, что указывает на возможную реализацию механизма землетрясения по типу стартового.

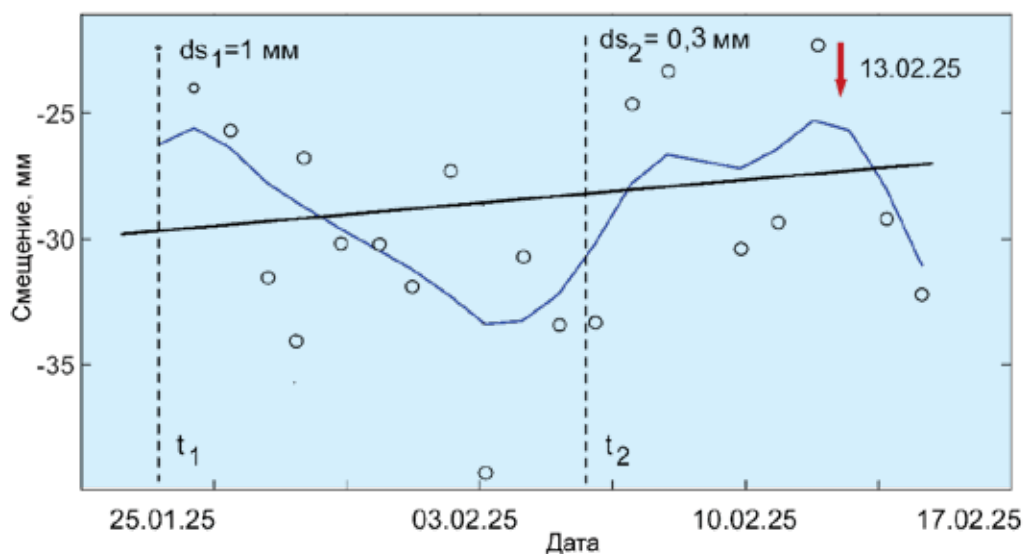
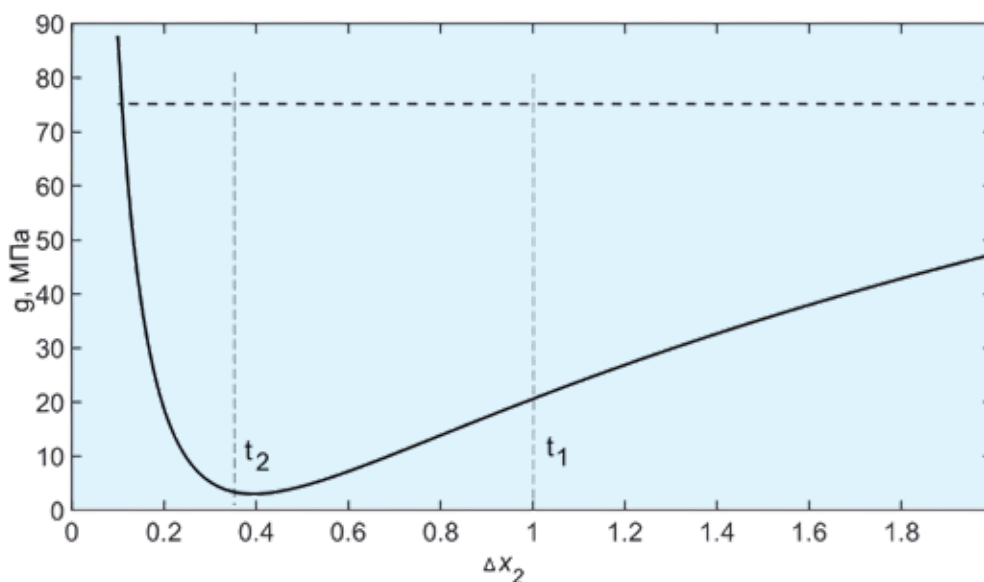


Рис. 15. Вертикальное движение поверхности Земли в районе станции Лесное в 2025 г.: сплошная линия — тренд вертикального движения, даты t_1 и t_2 — моменты начала (расстояние между плитами 1 мм) и конца (расстояние между плитами 0,4 мм) наблюдений



$$g(\Delta x_2) = \sigma_h(\Delta x_2)\Delta x_2^{-1} + \sigma_p \ln|\Delta x_2| \quad (3)$$

Рис. 16. Зависимость контактного напряжения $g(\Delta x_2)$ от расстояния между плитами Δx_2 , рассчитанная в рамках математической модели, в которой напряженность между плитами описывается формулой (3), где σ_h — сдвиговое напряжение, σ_p — литостатическое напряжение

2.3. ИССЛЕДОВАНИЕ СУБДУКЦИИ ЧЕРНОМОРСКОЙ ПЛИТЫ ПОД ЛИТОСФЕРНУЮ ПЛИТУ СУШИ

Методом блочного элемента исследовалась прибрежная зона Азово-Черноморского побережья Краснодарского края и восточного побережья Крыма, где погружение Черноморской плиты под континентальную формирует блочную структуру с системой разломов Биньофа (рис. 17).



Рис. 17. Схема субдукции Черноморской плиты под литосферную плиту суши

Проведено исследование смятия литосферной плиты Таманского полуострова под действием горизонтального давления Черноморской плиты (рис. 18). Длина волны неустойчивости, характеризующая смятие литосферной плиты под действием горизонтального давления Черноморской плиты, определяется формулой [4]:

$$\lambda = 2\pi \left[\frac{Eh^2}{12(1-\nu^2)(\rho_m - \rho_c)g} \right]^{1/4}, \quad (4)$$

здесь λ — длина волны неустойчивости, E — модуль Юнга, h — толщина плиты, ν — коэффициент Пуассона, ρ_m и ρ_c — плотность мантии и коры, g — ускорение силы тяжести.

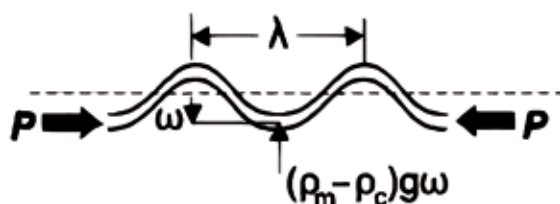


Рис. 18. Смятие бесконечно длинной пластины под действием горизонтальной нагрузки и гидростатической восстанавливающей силы

3 СЕТЬ СПУТНИКОВЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПУНКТОВ GPS/ГЛОНАСС ЮНЦ РАН

3.1. ОСНАЩЕНИЕ СЕТИ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Экспериментальной базой исследований является специальная сеть спутниковых геодинимических пунктов (СГП) GPS/ГЛОНАСС-приемников, развернутая ЮНЦ РАН в 2012 г. в Причерноморском регионе Краснодарского края в окрестностях города Сочи с целью обеспечения сейсмической безопасности при проведении Олимпиады-2014. Впоследствии сеть существенно расширилась. В настоящее время она покрывает Азово-Черноморский регион Российской Федерации (Черноморское побережье Краснодарского края и Республика Крым). Сеть дает возможность раннего предупреждения геодинимической активности в районе расположения объектов с высоким экологическим риском,

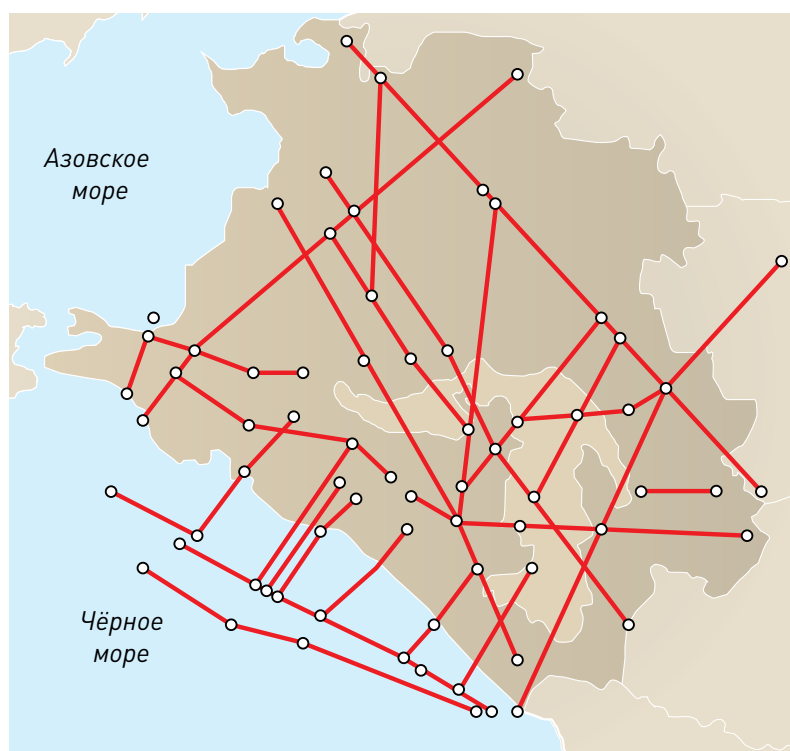


Рис. 19. Блочная структура с разломами территории Краснодарского края

следствием которых могут быть огромные материальные потери и гибель людей. При создании сети СГП учитывались тектонические особенности территории таким образом, чтобы измерить главные и наиболее существенные характеристики движений отдельных тектонических блоков и оценить активность существующей системы разломов (рис. 19), в районе которых может накапливаться опасная сейсмоупругая энергия деформаций, приводящая к возникновению землетрясений (рис. 20).



Рис. 20. Эпицентры землетрясений, произошедших в Краснодарском крае

Сеть из 10 пунктов, оснащенных высокоточными приемниками JNSS Prego и Trimble, в тектоническом плане характеризует движение различных участков (рис. 21):

- Керченско-Таманского периклинального прогиба (Тамань, Порт-Кавказ);
- покровно-складчатой зоны Северо-Западного Кавказа (Анапа, Геленджик, Новороссийско-Лазаревская зона, Эсто-Садок — Краснополянская зона);
- Сочи-Адлерской депрессии (Адлер, Сочи, Лесное).

Сеть спутниковых геодинимических пунктов GPS/ГЛОНАСС включает в себя 10 пунктов, оснащенных следующим оборудованием:

- многоканальный двухчастотный приемник GPS/ГЛОНАСС Prego GNSS;
- двухчастотный приемник Trimble 5700;
- высокоточная антенна GPS/ГЛОНАСС TPSCR3_CONE;
- управляющий промышленный мини-компьютер XCY;
- роутер GSM «Мегафон»;
- система бесперебойного питания Smartec или PS1210G.



Рис. 21. Сеть спутниковых геодинимических пунктов ЮНЦ РАН в районе Азово-Черноморского побережья Российской Федерации

Суточные данные объемом 2–4 МБ в формате *JPS автоматически передаются один раз в сутки на сервер КубГУ по каналам телеметрии с пунктов Эсто-Садок, Сочи, Адлер, Анапа, Тамань, Темрюк, Геленджик и Порт-Кавказ.

На станциях Лесное, Геленджик и Порт-Кавказ данные в формате *DAT считываются оператором в центр управления геодинимической лаборатории в г. Геленджике.

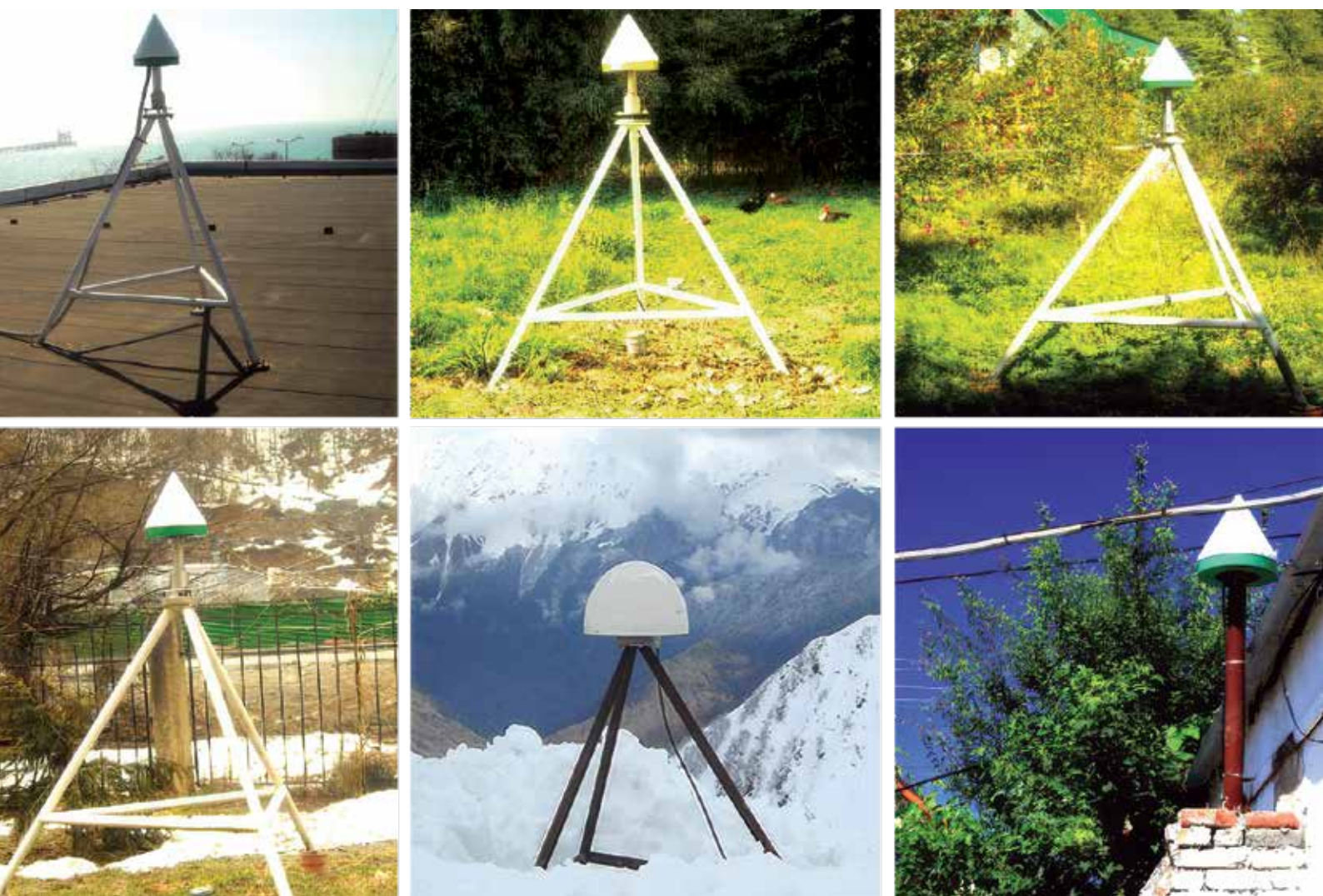


Рис. 22. Высоточные антенны GPS/ГЛОНАСС, расположенные в различных местах Причерноморского региона, включая морское побережье, лесной массив, горные районы и городскую застройку

Высокоточные антенны станций установлены на стабильных спецоснованиях, с погрешностью температурных деформаций не более 0,8 мм (рис. 22).

Размещение спутниковых антенн позволяет с большой эффективностью контролировать геодинамическую обстановку в Причерноморском регионе (рис. 23).

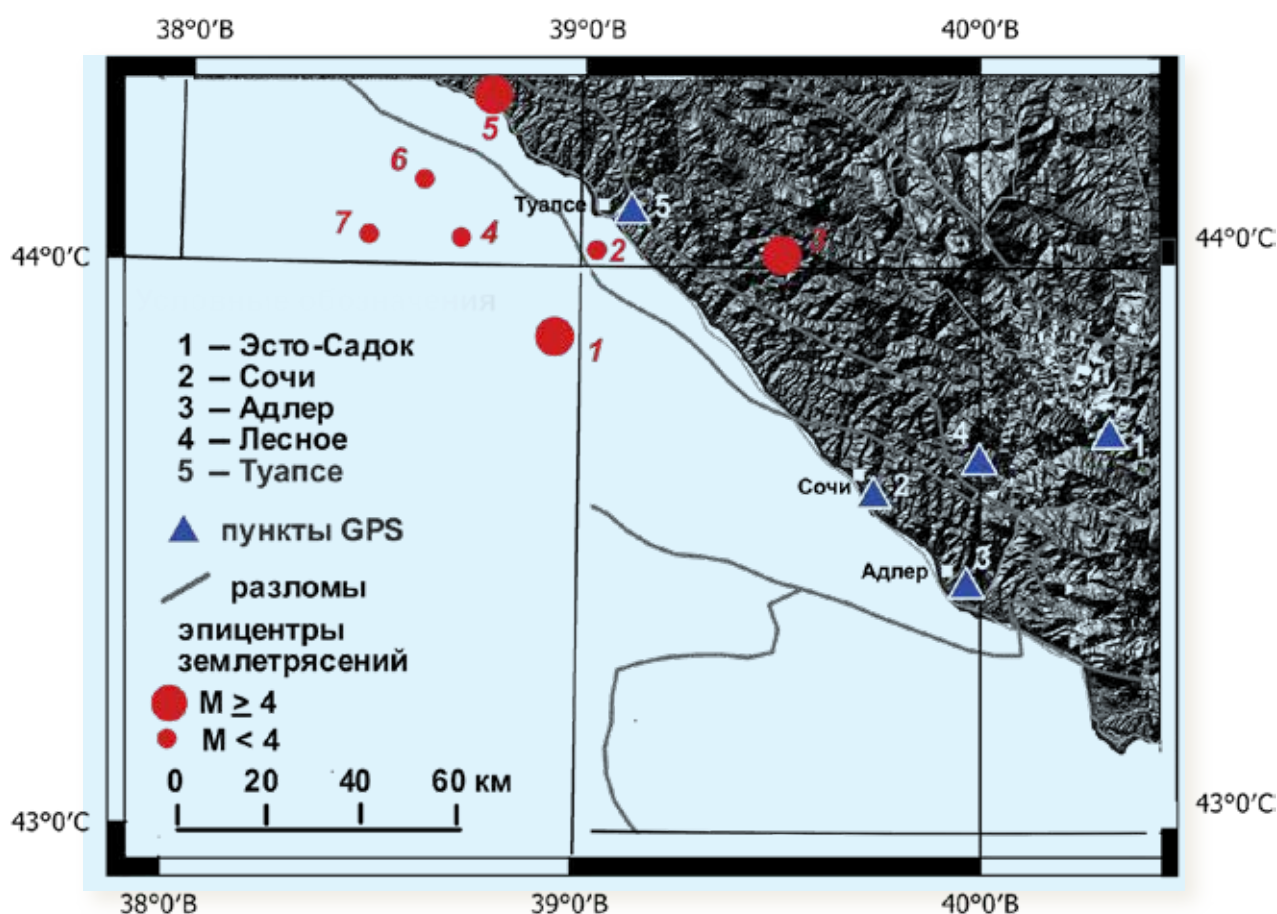


Рис. 23. Расположение сети спутниковых антенн в сейсмоактивном районе Сочи по состоянию на 2018 г. и расположение эпицентров землетрясений, произошедших в период с 2017 по 2018 г.: 1, 2, 3 — эпицентры землетрясений, произошедших в 2017 г. 30 апреля ($M = 4,0$), 1 мая ($M = 3,7$), 28 сентября ($M = 4,5$); 4, 5 и 6 — три достаточно сильных землетрясения, произошедшие в 2018 г.: 26 января (магнитуда 3,9, 4,0 и 3,9), 28 января — ($M = 3,5$)

Развит метод, разработан реализующий его алгоритм, и создано программное обеспечение расчета интегрального критерия, характеризующего консолидацию (усиление связности) фрагментов блочной структуры земной коры. Метод позволяет количественно оценивать динамику этого процесса в условиях нарастания тектонических напряжений по мере приближения к сейсмическому событию.



Рис. 24. Сеть станций GPS/ГЛОНАСС, входящих в состав сети спутниковых геодинимических пунктов ЮНЦ РАН в районе Азово-Черноморского побережья России (Краснодарский край и Республика Крым), и эпицентры землетрясений с магнитудой 4,5 и более, произошедших в этом регионе в 2015–2025 гг.

Как видно на рис. 24, расположение станций в значительной мере охватывает регионы Юга России с наиболее интенсивной сейсмической активностью.

На рис. 25 представлен график, иллюстрирующий динамику сейсмической активности в районе Сочи в 2017 г.

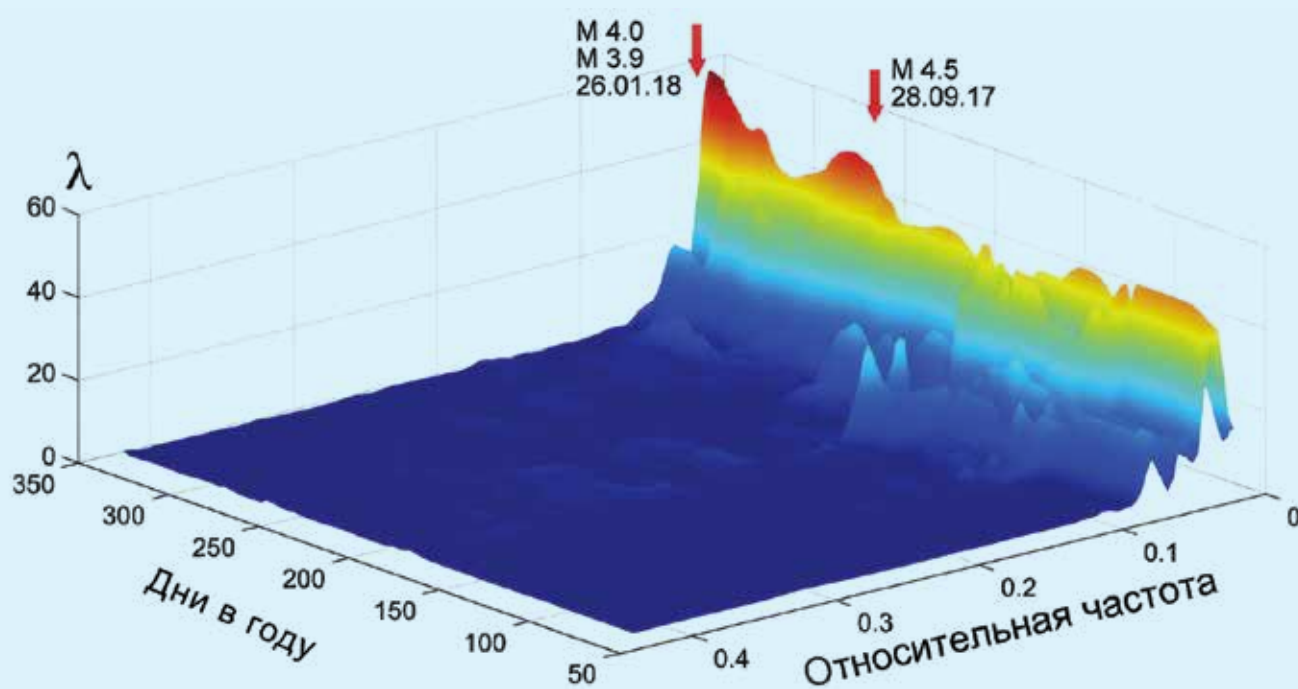


Рис. 25. Эволюция интегрального критерия λ в сейсмоактивном районе Сочи в 2017 г.

3.2. СОСТАВ И СТРУКТУРА СЕТИ

В настоящее время сеть спутниковых геодинимических пунктов (СГП) GPS/ГЛОНАСС-приемников ЮНЦ РАН, развернутая в районе Азово-Черноморского побережья Российской Федерации (Черноморское побережье Краснодарского края и Республика Крым) представляет собой 10 стационарных геодинимических пунктов: Эсто-Садок, Лесное, Сочи, Адлер, Геленджик, Анапа, Тамань, Темрюк, Порт-Кавказ, Таврида. Сеть позволяет производить мониторинг геодинимической активности в районе расположения социальных объектов с высоким экологическим риском и контролировать главные и наиболее существенные характеристики движений отдельных тектонических блоков, оценивать активность существующей системы разломов, в районе которых может накапливаться опасная сейсмоупругая энергия деформаций (рис. 26).

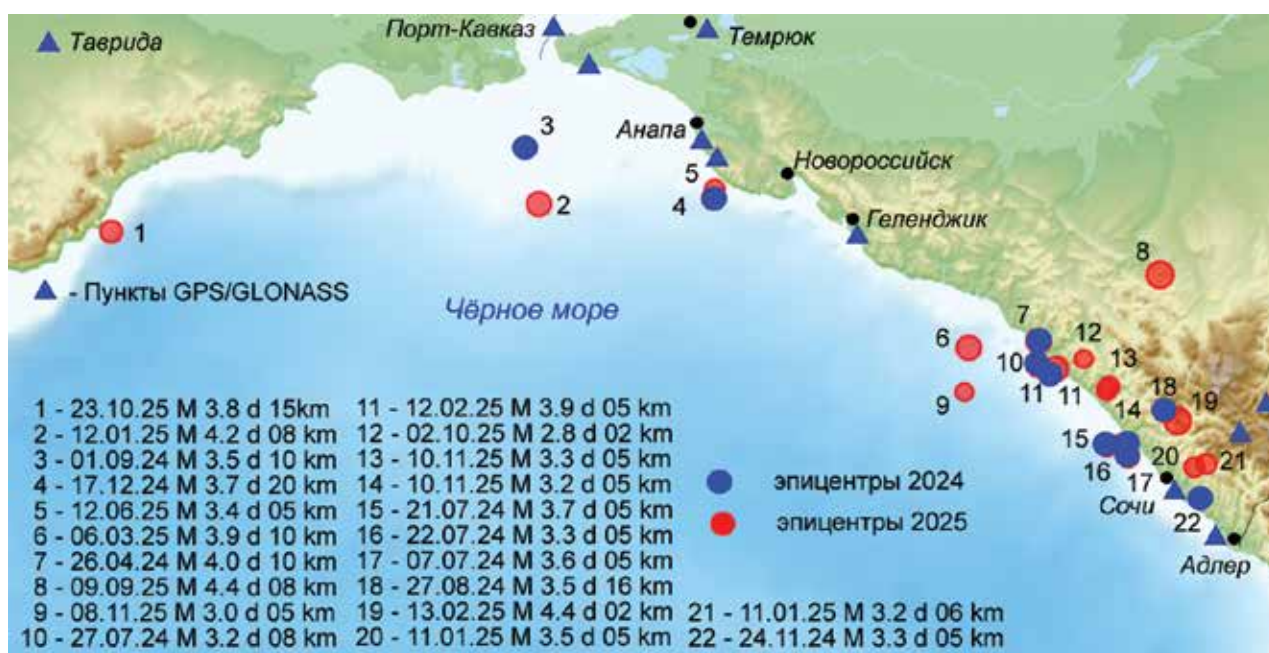


Рис. 26. Сеть станций GPS/ГЛОНАСС по состоянию на 2025 г. и расположение эпицентров значительных сейсмических событий, произошедших в период 2024–2025 гг. (отмечены цифрами 1–22): в информативной части рисунка представлены данные о землетрясении: дата события, магнитуда и глубина расположения эпицентров

На рис. 27–60 представлены фотографии функционирующих на сегодняшний день СГП, информация от которых поступает на сервер КубГУ для возможной передачи заинтересованным организациям.

3.2.1. СПУТНИКОВЫЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПУНКТ GPS/ГЛОНАСС «АДЛЕР»



Рис. 27. Спутниковая GPS/ГЛОНАСС-антенна станции «Адлер»

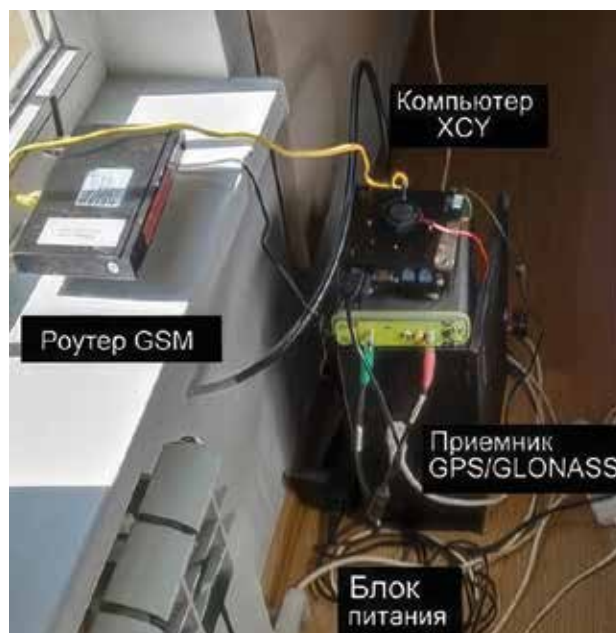


Рис. 28. Приемная аппаратура СГП «Адлер»

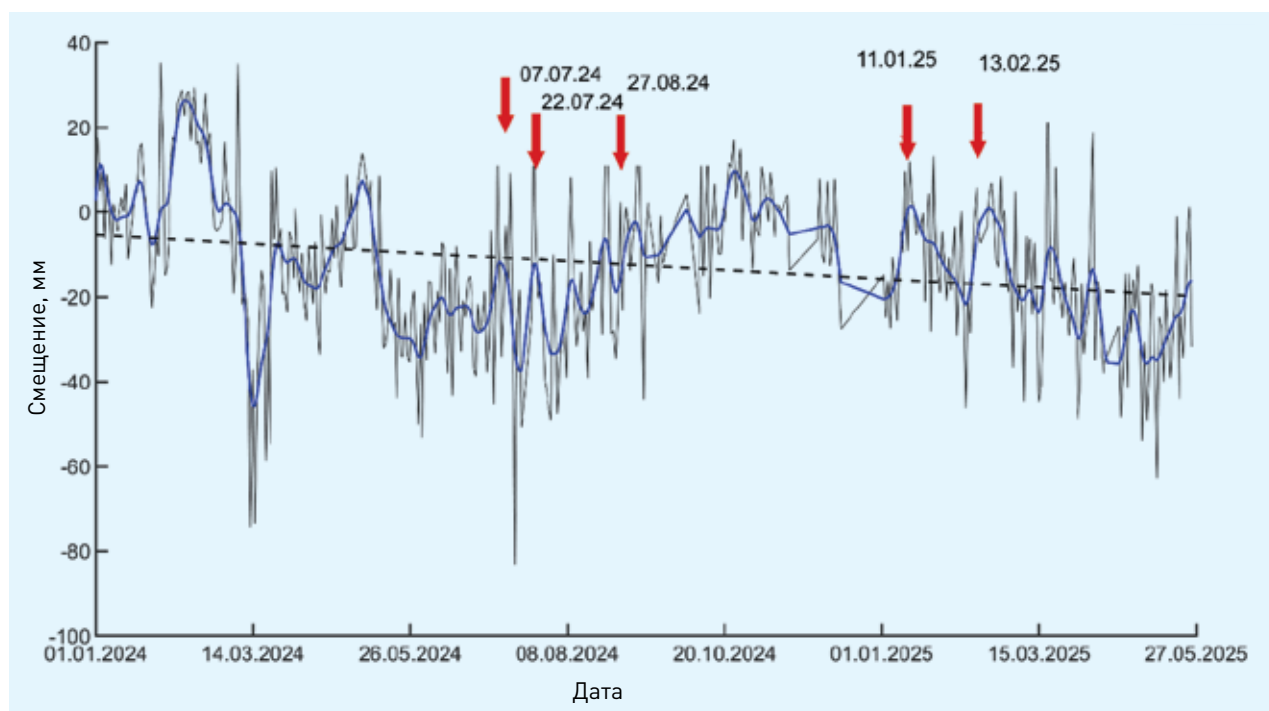


Рис. 29. Движение пункта «Адлер» и сейсмичность по вертикали 2024–2025 гг.

3.2.2. СПУТНИКОВЫЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПУНКТ GPS/ГЛОНАСС «СОЧИ»



Рис. 30. Спутниковая GPS/ГЛОНАСС-антенна СГП «Сочи»



Рис. 31. Приемная аппаратура СГП «Сочи»

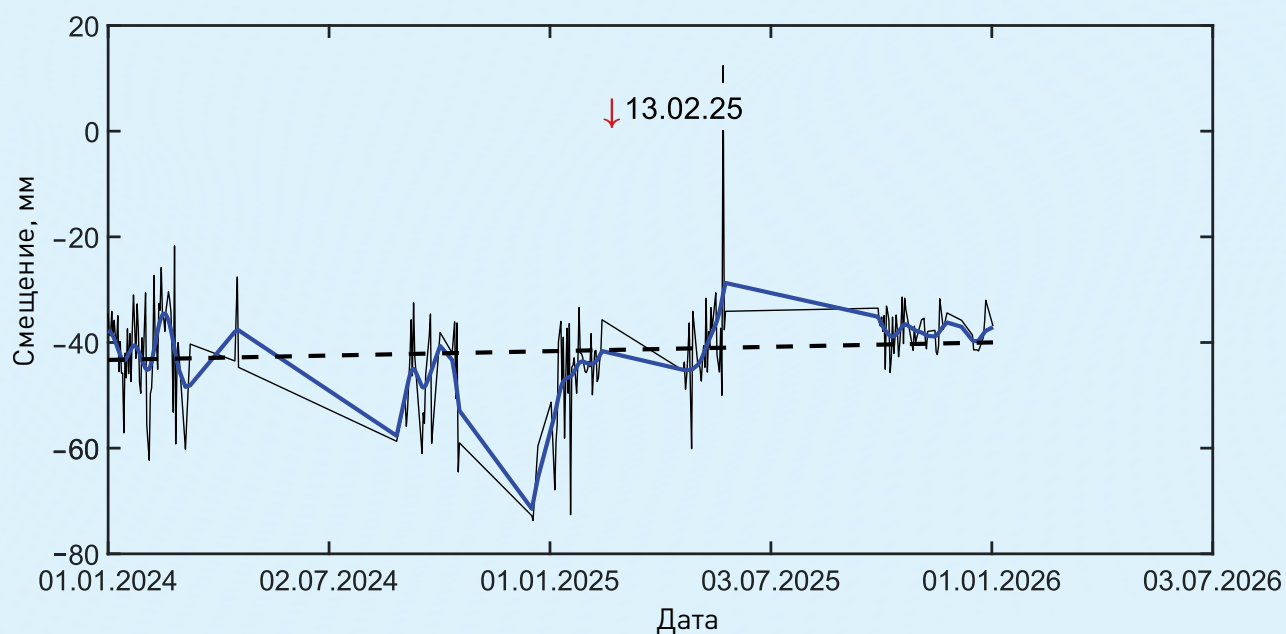


Рис. 32. Движение СГП «Сочи» и сейсмичность в горизонтальной плоскости в 2024–2025 гг.

3.2.3. СПУТНИКОВЫЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПУНКТ GPS/ГЛОНАСС «ЭСТО-САДОК»



Рис. 33. Спутниковая GPS/ГЛОНАСС-антенна СГП «Эсто-Садок»

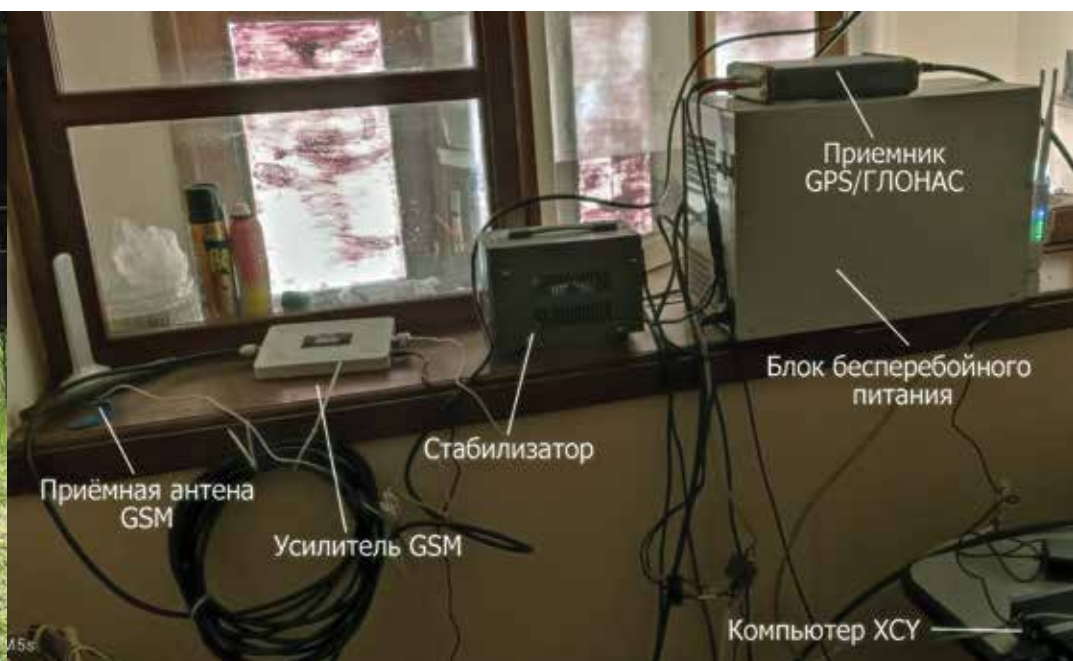


Рис. 34. Приемная аппаратура СГП «Эсто-Садок»

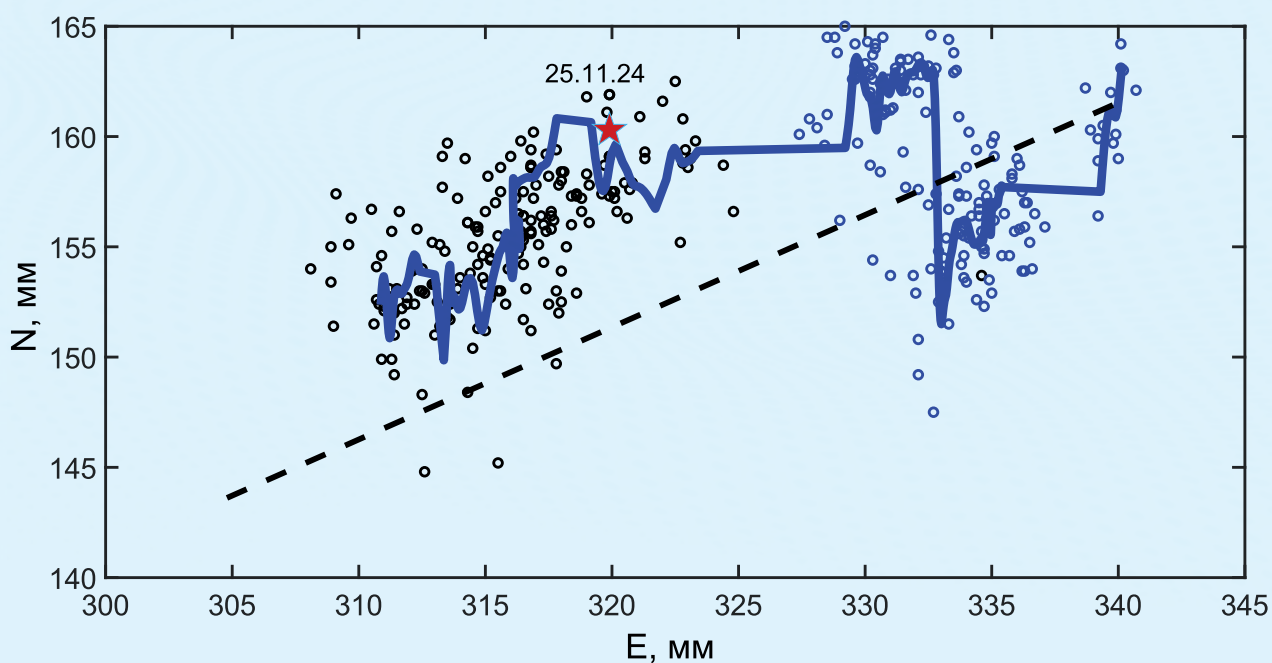


Рис. 35. Движение СГП «Эсто-Садок» и сейсмичность в горизонтальной плоскости в 2024–2025 гг.

3.2.4. СПУТНИКОВЫЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПУНКТ GPS/ГЛОНАСС «ЛЕСНОЕ»



Рис. 36. Спутниковая GPS/ГЛОНАСС-антенна СГП «Лесное»



Рис. 37. Приемная аппаратура СГП «Лесное»

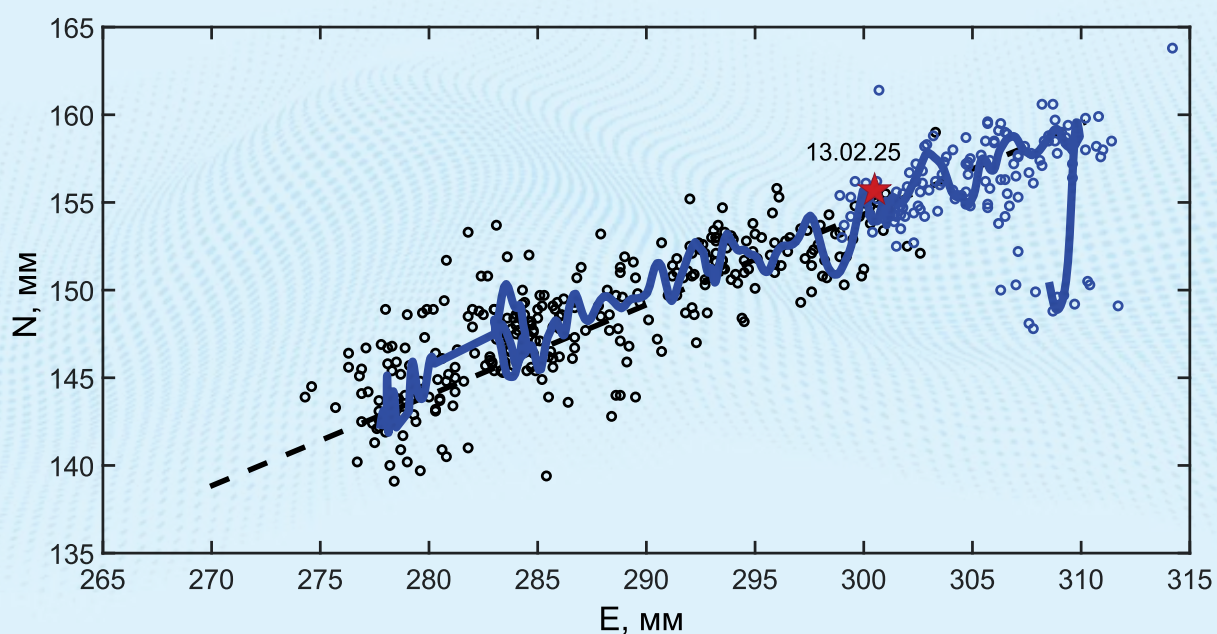


Рис. 38. Движение СГП «Лесное» и сейсмичность в горизонтальной плоскости в 2024–2025 гг.

3.2.5. СПУТНИКОВЫЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПУНКТ GPS/ГЛОНАСС «АНАПА»



Рис. 39. Спутниковая GPS/ГЛОНАСС-антенна СГП «Анапа»



Рис. 40. Приемная аппаратура СГП «Анапа»

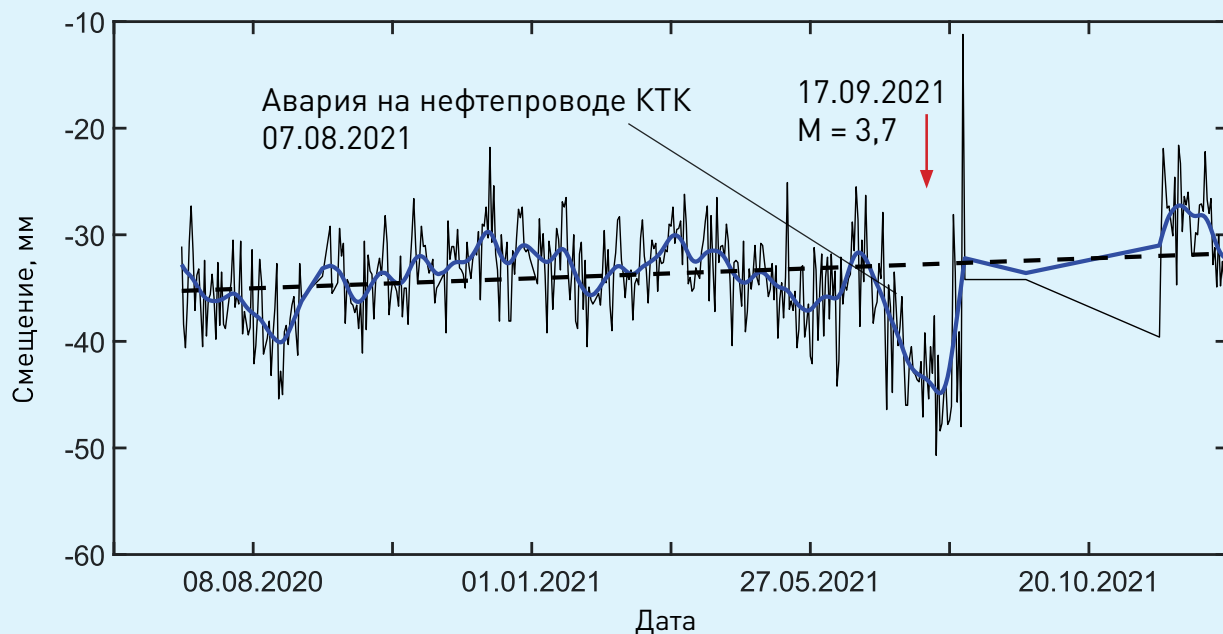


Рис. 41. Движение СГП «Анапа» по вертикали в период аварии на нефтепроводе Каспийского трубопроводного консорциума (КТК) 07.08.2021

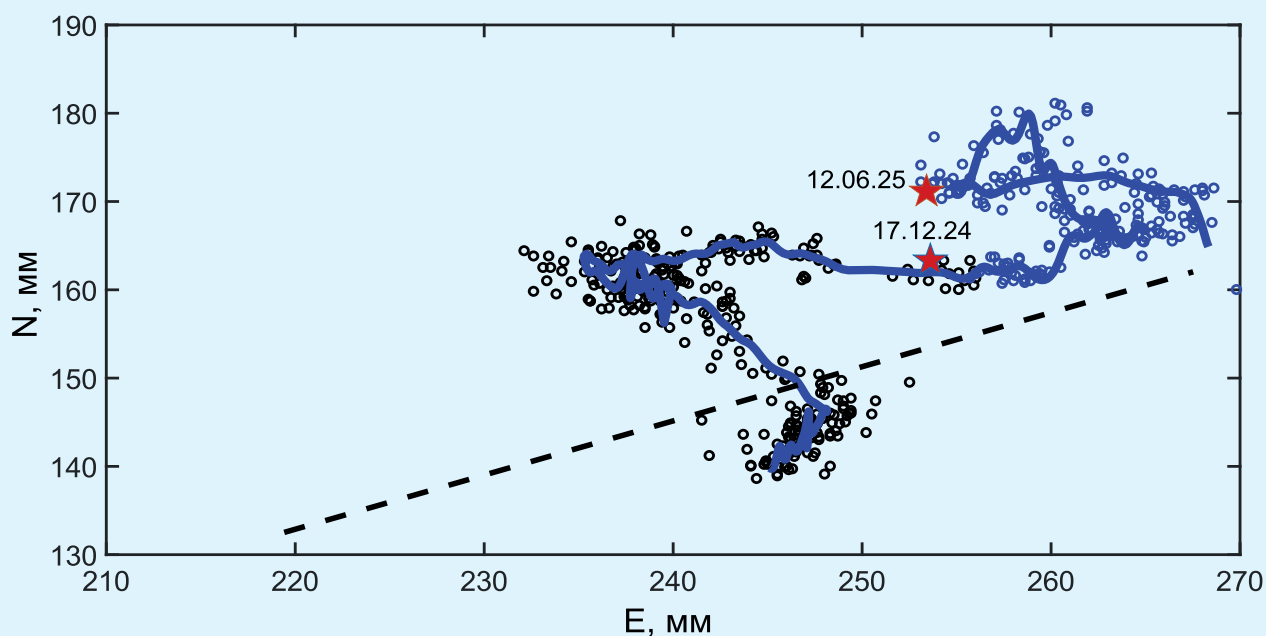


Рис. 42. Движение СГП «Анапа» в горизонтальной плоскости в 2024–2025 гг.

3.2.6. СПУТНИКОВЫЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПУНКТ GPS/ГЛОНАСС «ГЕЛЕНДЖИК»

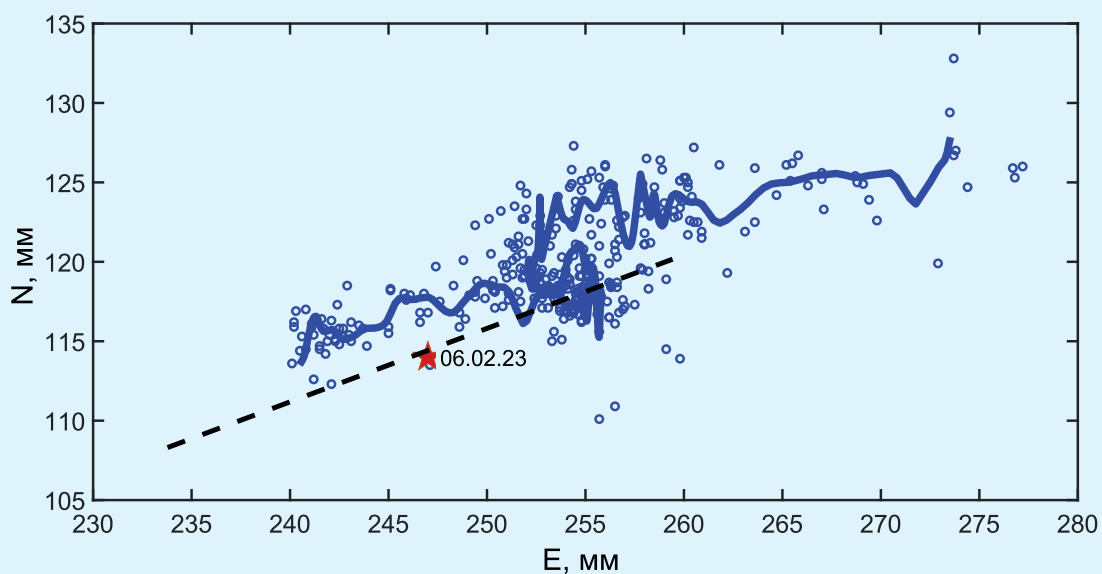


Рис. 44. Движение СГП «Геленджик» в горизонтальной плоскости и извержение грязевых вулканов в период землетрясений в Турции в 2023 г.

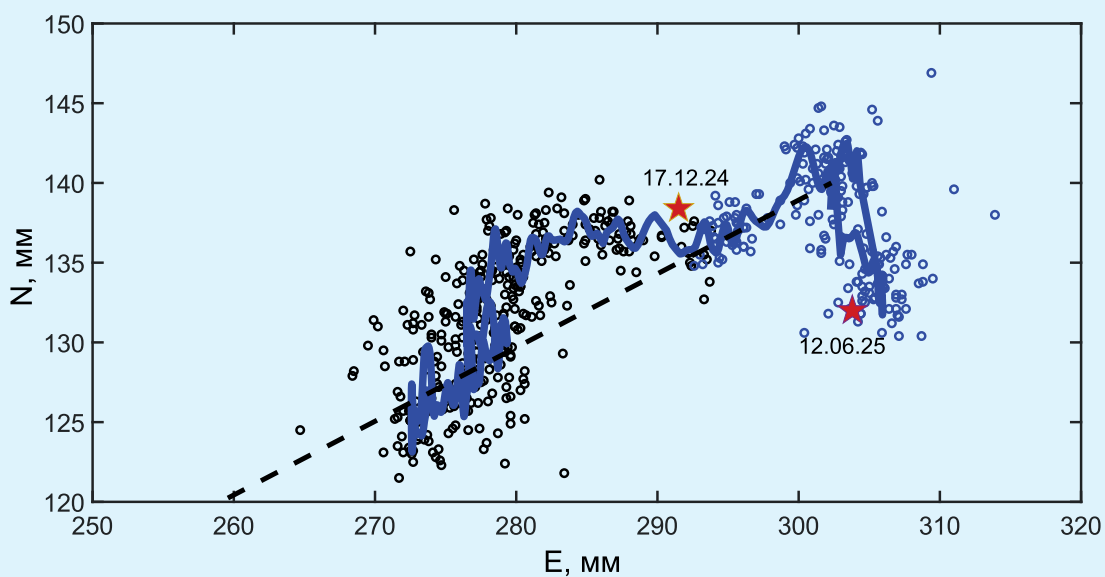


Рис. 45. Геодинамическая аномалия в горизонтальной плоскости на СГП «Геленджик» перед землетрясением 12.06.2025 г.

Рис. 43. Спутниковая GPS/ГЛОНАСС-антенна СГП «Геленджик»



3.2.7. СПУТНИКОВЫЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПУНКТ GPS/ГЛОНАСС «ТЕМРЮК»

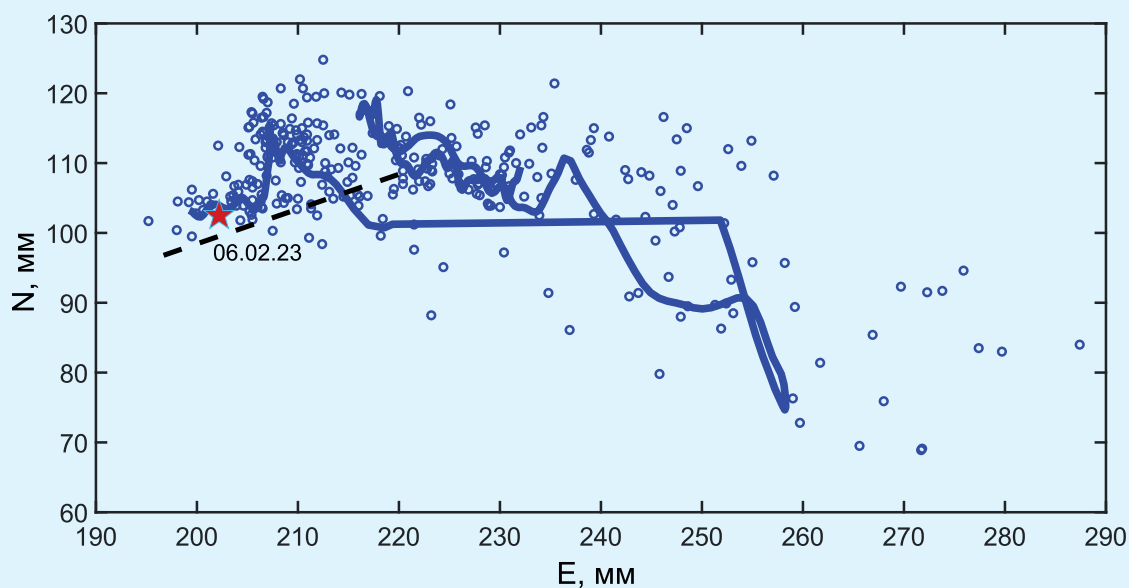


Рис. 47. Движение СГП «Темрюк» в горизонтальной плоскости и извержение грязевых вулканов в период землетрясений в Турции в 2023 г.

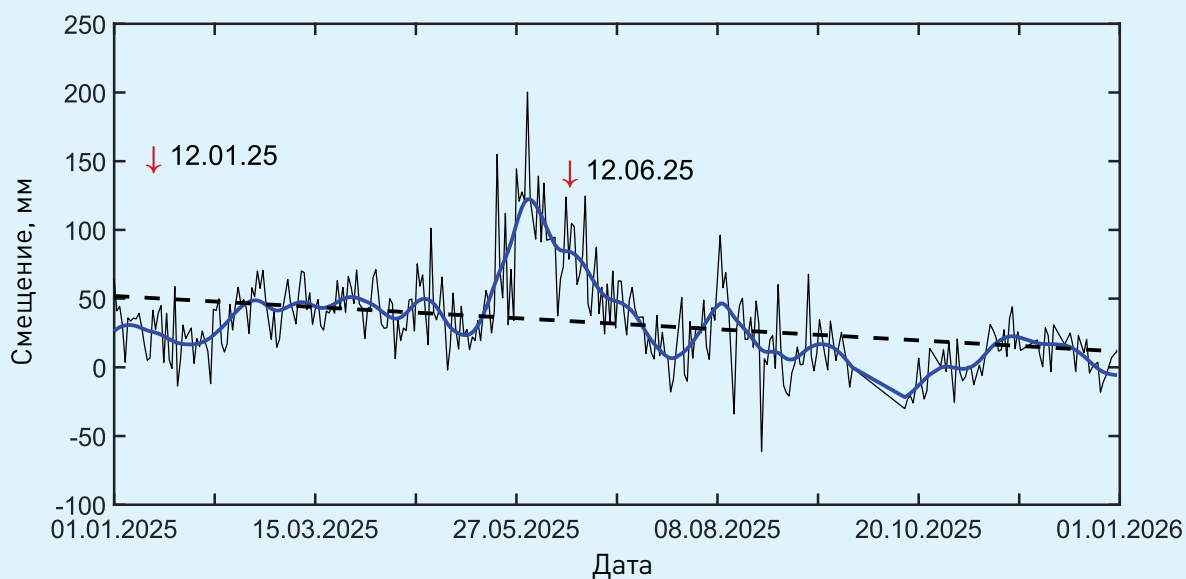


Рис. 48. Подъем земной поверхности на СГП «Темрюк» перед землетрясением 12.06.2025



Рис. 46. Спутниковая GPS/ГЛОНАСС-антенна СГП «Темрюк»

3.2.8. СПУТНИКОВЫЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПУНКТ GPS/ГЛОНАСС «ПОРТ-КАВКАЗ»



Рис. 49. СГП «Порт-Кавказ» в районе Крымского моста с автономным электропитанием от солнечной станции

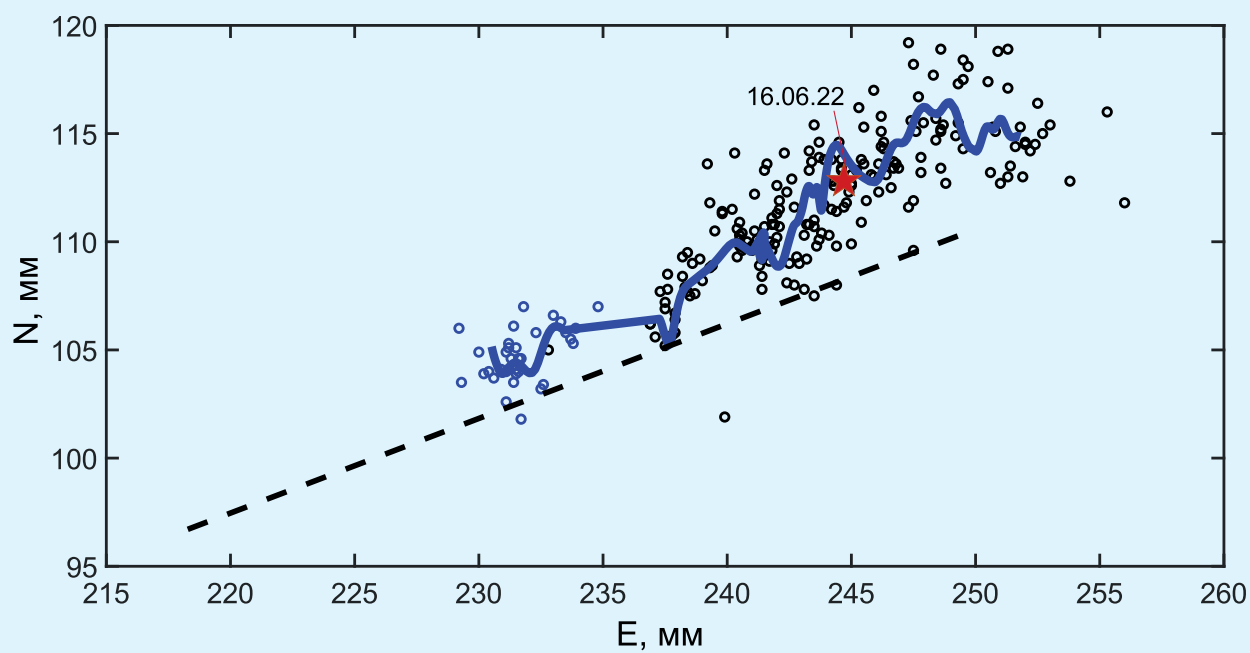


Рис. 50. Движение СГП «Порт-Кавказ» в горизонтальной плоскости в 2021–2022 гг.

3.2.9. СПУТНИКОВЫЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПУНКТ GPS/ГЛОНАСС «ТАВРИДА»



Рис. 51. Спутниковая GPS/ГЛОНАСС-антенна СГП «Таврида»



Рис. 52. Приемная аппаратура СГП «Таврида»

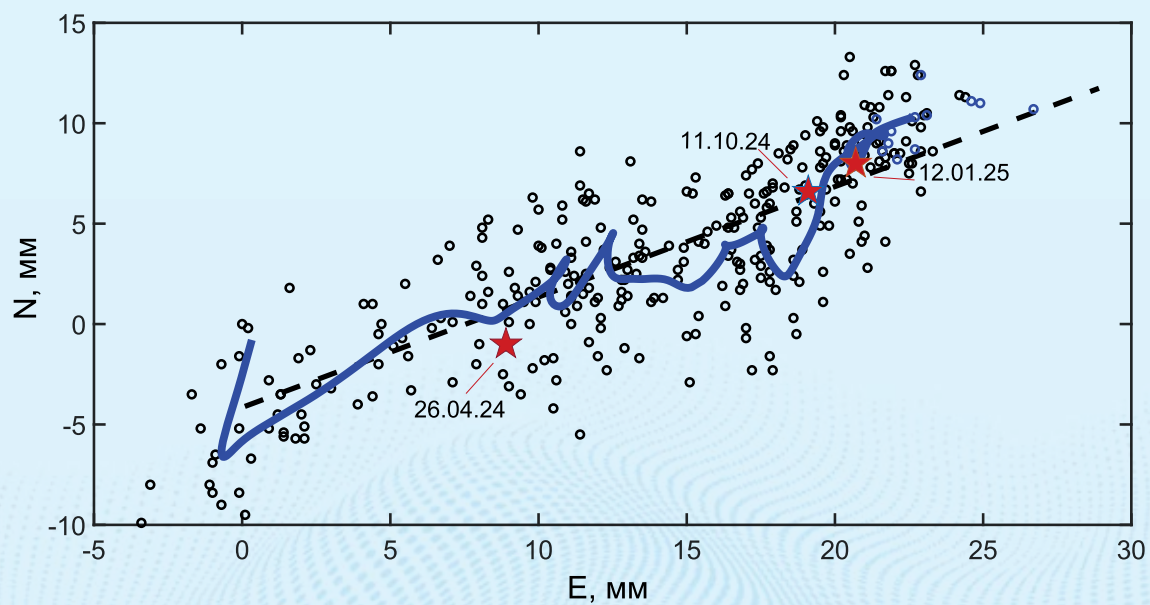


Рис. 53. Движение СГП «Таврида» в горизонтальной плоскости в 2024–2025 гг.

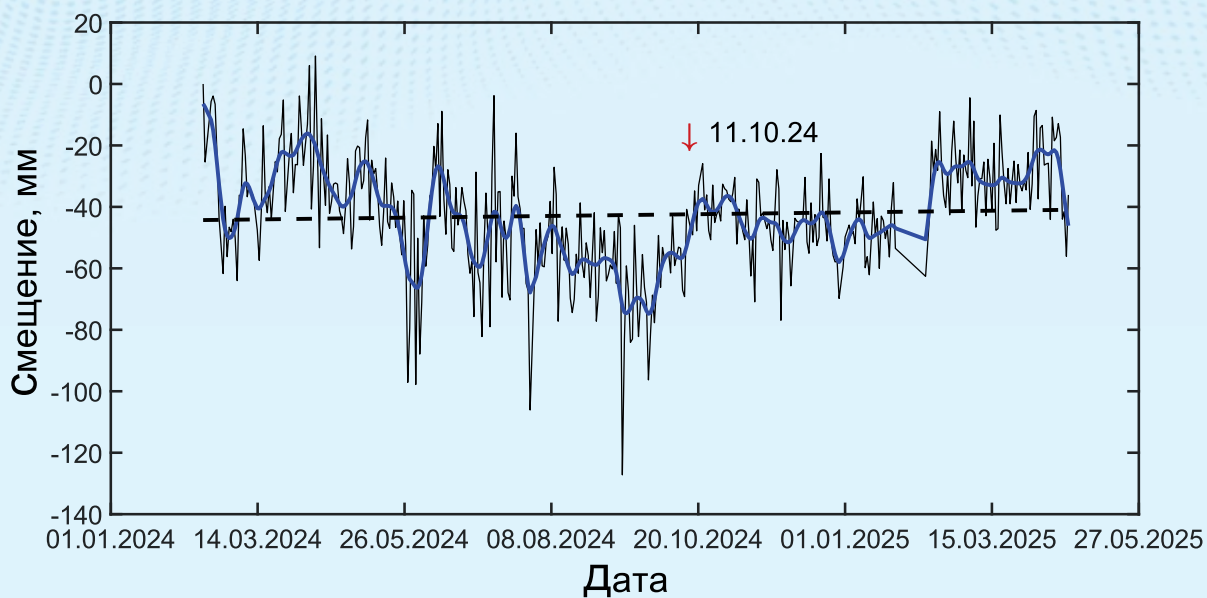


Рис. 54. Движение пункта «Таврида» по вертикали в 2024–2025 гг.

3.2.10. СПУТНИКОВЫЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПУНКТ GPS/ГЛОНАСС «ТАМАНЬ»



Рис. 55. Спутниковая GPS/ГЛОНАСС-антенна СГП «Тамань»

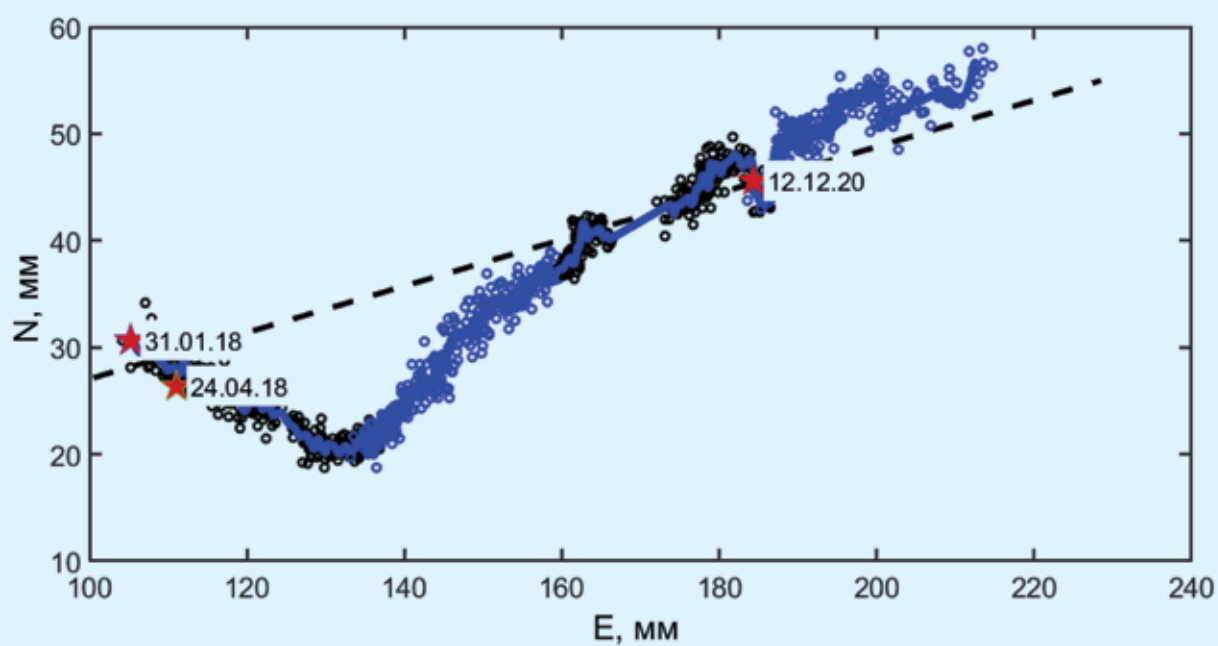


Рис. 56. Движение СГП «Тамань» в горизонтальной плоскости в 2018–2021 гг.

3.2.11. СПУТНИКОВЫЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПУНКТ GPS/ГЛОНАСС «АИБГА»



Результаты одновременных GPS-измерений на станциях «Эсто-Садок» и высокогорной «Аибга» (2200 м) выявили разнонаправленный характер движений этих пунктов и подтвердили наличие левостороннего сдвига вдоль Мзымтинского разлома. Совокупность данных GPS-наблюдений и сейсмических исследований свидетельствует о геодинамической активности в районе нижней долины реки Мзымты, которая, вероятно, продолжается и в акваториальной части. Полученные выводы следует учитывать при планировании строительных работ в районе Сочи.

Рис. 57. Спутниковая GPS/ГЛОНАСС-антенна СГП «Аибга»

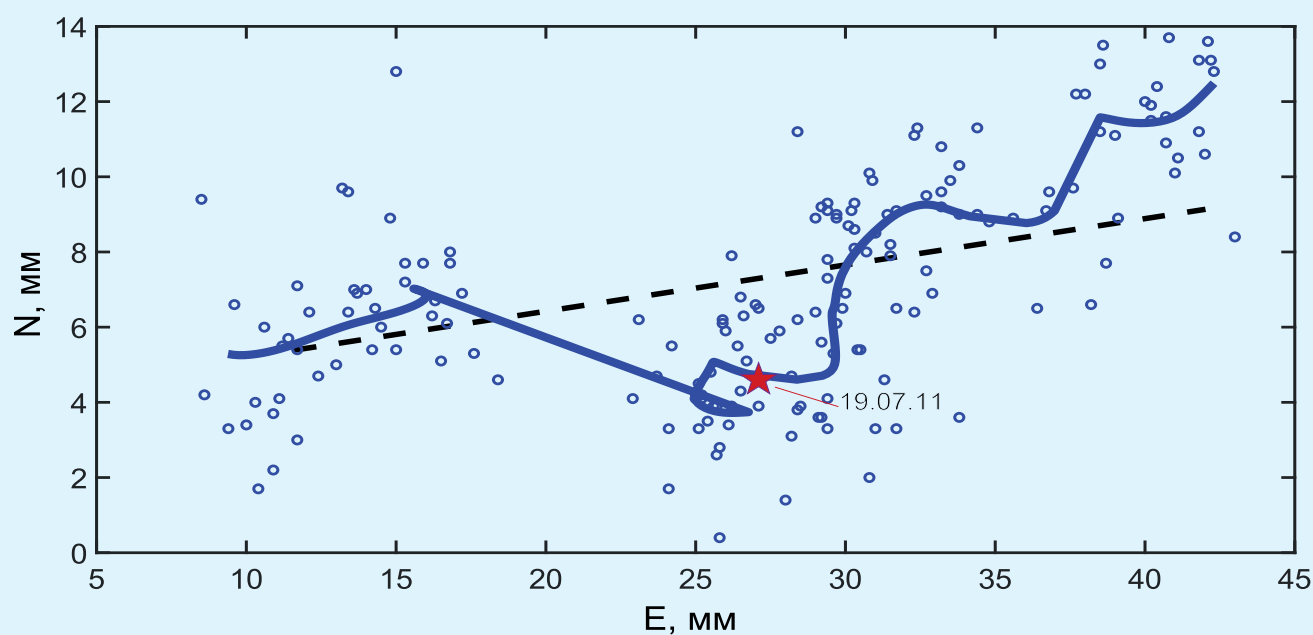


Рис. 58. Движение СГП «Аибга» в горизонтальной плоскости в 2011 г.

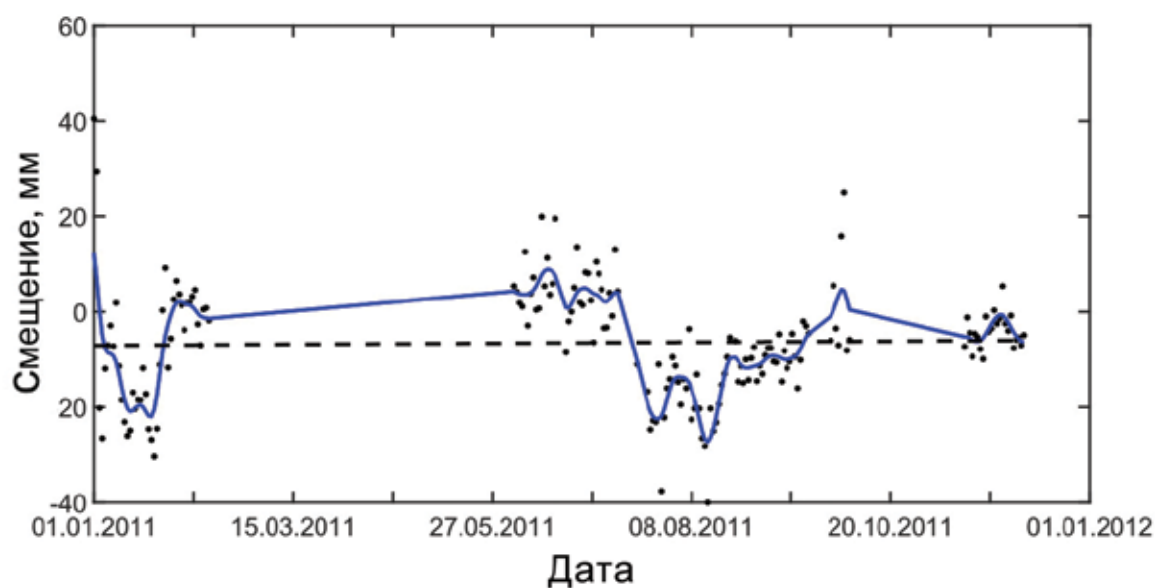


Рис. 59. Движение СГП «Аибга» по вертикали в 2011 г.

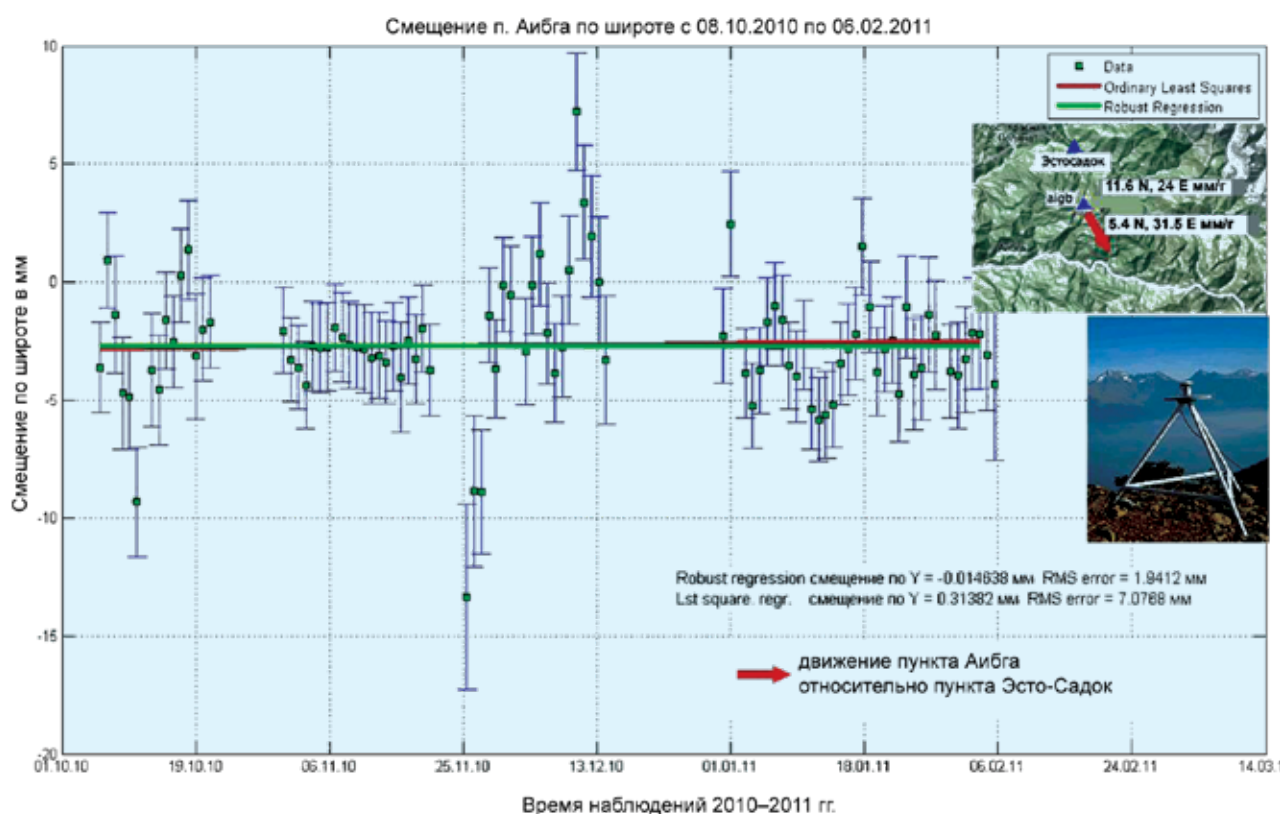


Рис. 60. Движение СГП «Аибга» по горизонтали в 2011 г. На верхней вставке красная стрелка — движение СГП «Аибга» относительно СГП «Эсто-Садок»

4 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ БАЗА СИСТЕМЫ «СЕЙСМОЗОНА-1»

4.1. МЕТОД БЛОЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Для реализации замыслов академиков Г.А. Гамбурцева и М.А. Садовского впервые был разработан и реализован новый метод математического моделирования — метод блочного элемента.

Цель создания этого математического метода — теоретическое исследование блочных структур, какими являются по справедливому утверждению М.А. Садовского глубинные зоны Земли, в частности ее кора. Метод не повторяет методы конечного элемента и граничного элемента, сугубо компьютерные методы, не позволяющие оперативно получать теоретические результаты. Блочные элементы имеют сложную математическую структуру и представляют объекты дискретного топологического пространства, представляя решения граничных задач, поставленных на их носителях. Метод при своем создании потребовал привлечения математики высокого уровня — простой и дифференциальной топологии, факторизации матриц-функций, внешней алгебры, многомерных форм-вычетов Лере, решений псевдодифференциальных уравнений, автоморфизмов.

Научная и социальная отдачи построенного метода превзошли все ожидания авторов. Метод, примененный в рамках трехблочной структуры коры Земли к встречному движению торцами литосферных плит, позволил обнаружить новый тип ранее не описанных землетрясений, названных стартовыми.

Метод блочного элемента позволил выявить, что сблизившиеся литосферные плиты начинают разрушаться до взаимодействия, поскольку в зоне сближения возникают сингулярные контактные напряжения. Оказалось, что стартовое землетрясение является единственным, время, место и интенсивность которого можно прогнозировать. Как сказано выше, численные методы этот тип землетрясений выявить не смогли. Метод блочного

элемента оказался способным выявить существование в грунтах, материалах и изделиях ранее не описанный новый тип трещин, названных трещинами нового типа. Механизм их разрушения иной, чем у используемых в инженерии трещин Гриффитса, описанных более ста лет назад. Трещины нового типа были применены для описания устойчивости и разрушения предползневых структур, а также в подшипниковых парах машиностроения. Значительные результаты удалось получить в прикладной математике, осуществив решение задач, ранее не поддававшихся исследованию другими методами. Объединение блочных элементов осуществляется по правилам введенных топологических структур как для носителей, так и для решений граничных задач. В процессе объединения, то есть построения фактор-топологического пространства, вводятся отдельно соотношения эквивалентности для носителя (при этом для решений граничных задач это граничные условия граничной задачи на носителе).

4.2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ СИСТЕМОЙ «СЕЙСМОЗОНА-1»

В основе перечисленных ниже способов, опирающихся на получаемую геофизическую информацию системы «СЕЙСМОЗОНА-1», лежит метод блочного элемента с приложениями к материалам сложных реологий. В зависимости от разных геофизических условий в сейсмоопасных территориях, применяются различные методы исследования:

- метод корового землетрясения вне разлома;
- метод стартового землетрясения на разломе;
- метод дилатаций;
- метод функций Грина;
- метод горных территорий.

В некоторых случаях они могут дублироваться. В связи со спецификой приемов обработки геофизической информации с применением метода блочного элемента, доступных лишь математикам высокого уровня, прошедших обучение у создателей системы «СЕЙСМОЗОНА-1», их описание относится к категории ноу-хау и здесь не приводится.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

1. Бабешко В.А., Бабешко О.М., Евдокимова О.В. К теории блочного элемента // Доклады Академии наук. 2009. Т. 427, № 2. С.183–186.
2. Бабешко В.А., Ритцер Д. (Канада), Евдокимова О.В., Бабешко О.М. Федоренко А.Г. К теории прогноза сейсмичности на основе механической концепции, топологический подход // Доклады Академии наук. 2013. Т. 450, № 2. С. 166–170.
3. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. К проблеме физико-механического предвестника стартового землетрясения: место, время, интенсивность // Доклады Академии наук. 2016. Т. 466. № 6. С. 664–669.
4. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. On the possibility of predicting some types of earthquake by a mechanical approach // Acta Mechanica. 2018. Vol. 229. Iss. 5. Pp. 2163–2175.
5. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. On a mechanical approach to the prediction of earthquakes during horizontal motion of lithospheric plates // Acta Mechanica. 2018. Vol. 229. Iss. 11. Pp. 4727–4739.
6. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. About features of the starting earthquake at rigid contacts of lithospheric plates with the base // Acta Mechanica. 2020. Vol. 231. Iss. 12. Pp. 5205–5212.
7. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Evdokimova V.S, Babeshko O.M. The mechanical concept of earthquakes in mountainous, fractured territories // Acta Mechanica. 2025. Vol. 236. Iss. 11. Pp. 6489–6498.
8. Калинчук В.В., Шестопалов В.Л., Шестопалов П.В., Шереметьев В.М. Исследование механического предвестника корового землетрясения с использованием GPS-измерений // Наука Юга России. 2025. Т. 21, № 1. С. 6–10.
9. Газета ПОИСК. №10–11. 7 МАРТА 2014.
10. Газета ПОИСК. №11. 17 МАРТА 2023.
11. Газета ПОИСК. №1–2. 12 ЯНВАРЯ 2024.
12. Газета ПОИСК. №36. 5 СЕНТЯБРЯ 2025.
13. Газета ПОИСК. №3–4. 30 ЯНВАРЯ 2026.

**Владимир Андреевич БАБЕШКО
Валерий Владимирович КАЛИНЧУК**

СИСТЕМА «СЕЙСМОЗОНА-1»

**ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ
И ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

Научно-информационное пособие

**Б а б е ш к о Владимир Андреевич
К а л и н ч у к Валерий Владимирович**

Система «СЕЙСМОЗОНА-1»: исследования сейсмичности и прогноза землетрясений

Редакторы: *А.С. Бабаева, Ю.В. Безуглова*

Подписано в печать 02.02.2026. Выход в свет 04.02.2026.
Формат 70х100/8. Гарнитура DIN. Печать цифровая.
Уч.-изд. л. 0,56. Усл. печ. л. 3,45. Тираж 150 экз. Заказ № 6363.

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН
344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41.

Кубанский государственный университет
350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149.

Издательско-полиграфический центр КубГУ
350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149.