

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

—

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

—

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Геофизический центр Российской академии наук

О Т Ч Е Т

о деятельности Геофизического центра РАН за 2022 год.

Результаты научных исследований

и международных проектов

Москва

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION

—

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

—

GEOPHYSICAL CENTER
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

R E P O R T
OF THE GEOPHYSICAL CENTER RAS
for 2022
Results of Scientific Research
and International Projects

Moscow



This volume presents information on scientific activities of the Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences in 2022. It contains information on the main results obtained within the budgetary funding projects. It also includes the results of scientific research within the projects of the Russian Science Foundation (RSF) and the Russian Foundation for Basic Research (RFBR). This volume gives an outlook of the international activities of the Geophysical Center, including the National Geophysical Committee of the Russian Academy of Sciences (NGC RAS). The report contains a list of publications as well as information on intellectual property of the Geophysical Center for the year 2022.

Editors in chief:

A. A. Soloviev, Corr. Member RAS, Dr., Director of GC RAS

R. I. Krasnoperov, Scientific Secretary of GC RAS

Editorial board:

A. D. Gvishiani, Academician RAS, Chief Scientist of GC RAS

E. O. Kedrov, Cand. Sci. (physics and mathematics)

Approved for publishing on 31.08.2023

Layout Production:

E. O. Kedrov

<https://doi.org/10.2205/2023BS057>

Soloviev, A. A., R. I. Krasnoperov, Eds. (2023), Report of Geophysical Center RAS for 2022. Results of Scientific Research and International Projects, Geoinf. Res. Papers, Vol. 11, No. 1, BS1003 <https://doi.org/10.2205/2023BS057>

M.: Geoinformatics Research Papers. Proceedings of the Geophysical Center RAS, 2023, 174 pp.

ISSN: 2308-5983

© 2023 Geophysical Center RAS



В настоящем издании содержатся сведения о научной деятельности Геофизического центра Российской академии наук в 2022 г. Представлены сведения об основных результатах, полученных в рамках государственного задания по темам научно-исследовательских работ. В отчет включены результаты научных исследований по грантам Российского научного фонда (РНФ) и Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ). Приведена информация о международной деятельности Геофизического центра, включая работу Национального геофизического комитета Российской академии наук (НГК РАН). Отчет содержит перечень публикаций и результатов интеллектуальной деятельности Геофизического центра в 2022 г.

Ответственные редакторы:

А. А. Соловьёв, чл.-корр. РАН, директор ГЦ РАН

Р. И. Краснопёров, учёный секретарь ГЦ РАН

Редколлегия:

А. Д. Гвишиани, академик РАН, научный руководитель ГЦ РАН

Э. О. Кедров, к.ф.-м.н.

Утверждено к печати 31.08.2023 г.

Компьютерная подготовка оригинал-макета:

Э. О. Кедров

<https://doi.org/10.2205/2023BS057>

Соловьёв, А. А., Р. И. Краснопёров (ред.) (2023) Отчет о деятельности Геофизического центра РАН за 2022 год. Результаты научных исследований и международных проектов. М.: Исследования по геоинформатике, т. 11, №1 (BS1003), <https://doi.org/10.2205/2023BS057>

М.: Исследования по геоинформатике. Труды ГЦ РАН, 2023, 174 с.

ISSN 2308-5983

© ГЦ РАН, 2023

Содержание

Содержание	5
1 Научная деятельность ГЦ РАН	6
2 Фундаментальные исследования и разработка методов прогнозирования и мониторинга устойчивости геологической среды для предупреждения угроз от объектов использования атомной энергии и природных опасностей	22
3 Развитие математических методов интеллектуального анализа данных геофизического мониторинга для изучения электромагнитных параметров Земли и околоземного пространства	36
4 Структурирование, визуализация, анализ и распространение геофизических данных.....	51
5 Разработка теоретических основ и экспериментальных методик системного анализа для комплексного изучения геофизических, геодезических и метеорологических данных.....	79
6 Исследование устойчивости породных массивов на основе системного анализа геодинамических процессов для геоэкологически безопасной подземной изоляции радиоактивных отходов.....	93
7 Системный анализ влияния астрономической цикличности на процессы осадконакопления Паратетиса.....	103
8 Системный анализ динамики геофизических процессов в российской Арктике и их воздействие на развитие и функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта	115
9 Исследование и совместная валидация информационных продуктов дистанционного зондирования Земли из разных источников для обмена информацией в странах БРИКС	129
10 Системный анализ особенностей характера распространения COVID-19 для стран Европы и регионов России.....	141
11 Международная деятельность ГЦ РАН в 2022 году	157
12 Деятельность Национального геофизического комитета РАН	161
Список основных научных публикаций за 2022 год	162
Данные о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности (РИД) Геофизического центра РАН.....	173



1 Научная деятельность ГЦ РАН 1.1 Государственное задание

Научная деятельность подразделений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизического центра Российской академии наук (ГЦ РАН) в 2022 г. была сосредоточена на выполнении государственного задания № 075-00764-22-00, утвержденного 27 декабря 2021 г. Регистрационный номер плана тематик научных исследований: 1021120900517-5.

Исследования проводились в рамках Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021-2030 годы). Направление науки: 1.5. Науки о Земле.

Согласно государственному заданию в ГЦ РАН проводились фундаментальные исследования по 4 темам НИР:

- 1 Тема НИР: «Фундаментальные исследования и разработка методов прогнозирования и мониторинга устойчивости геологической среды для предупреждения угроз от объектов использования атомной энергии и природных опасностей»
Шифр темы: FMWG-2022-0005
Регистрационный номер: 122080300206-4
Структурное подразделение: Лаборатория геодинамики
Руководитель: чл.-корр. РАН В.Н. Татаринов
- 2 Тема НИР: «Развитие математических методов интеллектуального анализа данных геофизического мониторинга для изучения электромагнитных параметров Земли и околоземного пространства»
Шифр темы: FMWG-2022-0006
Регистрационный номер: 122080300204-0
Структурное подразделение: Лаборатория геоинформатики и геомагнитных исследований
Руководитель: чл.-корр. РАН А.А. Соловьев
- 3 Тема НИР: «Структурирование, визуализация, анализ и распространение геофизических данных»
Шифр темы: FMWG-2022-0007
Регистрационный номер: 122080300191-3
Структурное подразделение: Лаборатория геофизических данных; Лаборатория электронных публикаций; Лаборатория инновационных проектов
Руководитель: д.ф.-м.н. Б.А. Дзебоев



- 4 Тема НИР: «Разработка теоретических основ и экспериментальных методик системного анализа для комплексного изучения геофизических, геодезических и метеорологических данных»
- Шифр темы: FMWG-2022-0008
- Регистрационный номер: 122080300190-6
- Структурное подразделение: Лаборатория геоинформатики и геомагнитных исследований; Лаборатория геодинамики
- Руководитель: к.ф.-м.н. Р.В. Сидоров

1.2 Проекты научных фондов

В 2022 г. в ГЦ РАН выполнялись исследования по **2** грантам Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и **3** грантам Российского научного фонда (РНФ):

- 1 Грант РФФИ № 19-55-80021_БРИКС_т: «Исследование и совместная валидация информационных продуктов дистанционного зондирования Земли из разных источников для обмена информацией в странах БРИКС»
- Регистрационный номер: АААА-А20-120061690061-2
- Руководитель: академик РАН В.Г. Бондур
- 2 Грант РФФИ № 20-57-82003_ИИАСА: «Системный анализ особенностей характера распространения COVID-19 для стран Европы и регионов России»
- Регистрационный номер: 121032900088-0
- Руководитель: академик РАН А.Д. Гвишиани
- 3 Грант РФФИ № 20-35-70054_ИИАСА: «Системный анализ особенностей характера распространения COVID-19 для стран Европы и регионов России»
- Регистрационный номер: 122052300071-5
- Руководитель: академик РАН А.Д. Гвишиани
- <https://rscf.ru/project/18-17-00241/>
- 4 Грант РНФ № 19-77-10075: «Системный анализ влияния астрономической цикличности на процессы осадконакопления Паратетиса»
- Регистрационный номер: АААА-А19-119082190032-6
- Руководитель: к.г.-м.н. А.И. Рыбкина
- <https://rscf.ru/project/19-77-10075/>
- 5 Грант РНФ № 21-77-30010: «Системный анализ динамики геофизических процессов в российской Арктике и их воздействие на развитие и функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта»
- Регистрационный номер: 121041200191-6
- Руководитель: д.ф.-м.н. В.А. Пилипенко
- <https://rscf.ru/project/21-77-30010/>



1.3 Важнейшие результаты фундаментальных научных исследований

Экспериментальная регистрация медленных деформационных волн по данным ГНСС-наблюдений

Д.т.н. В.И. Кафтан, чл.-корр. РАН В.Н. Татаринов

(Тема НИР «Фундаментальные исследования и разработка методов прогнозирования и мониторинга устойчивости геологической среды для предупреждения угроз от объектов использования атомной энергии и природных опасностей»)

Получены оригинальные результаты экспериментальной регистрации медленных деформационных волн в земной коре, связанных с сейсмичностью на границе взаимодействия тектонических плит. Исходными данными послужили временные ряды координат станций непрерывных ГНСС-наблюдений продолжительностью от 11 до 15 лет, каталоги землетрясений и карты разломной тектоники. Использована авторская методика создания кинематических визуализаций сейсмодформационного процесса (рис. 1.1). Впервые зарегистрированное явление представляет собой структурно устойчивое распространение горизонтальных деформаций полного сдвига в неоднородной среде верхнего слоя земной коры. Обнаружены источники образования деформационных волн – это землетрясения $M 4,0-5,0$. Определена скорость их распространения: 2-20 км/год. Исследования показали, что форма волны может быть линейной в случае наличия тектонического разлома – волновода и круговой концентрической в случае отсутствия такового. Обнаруженные волны явились триггерами ряда сильных землетрясений $M 6,0-7,1$. Рассчитан уровень критической деформации возбуждения сильных сейсмических событий $0,2-0,3 \times 10^{-5}$. Полученные результаты имеют важное научное значение, как первые доказательства существования деформационных волн в сейсмоактивных районах и их взаимосвязи с процессом накопления и сброса напряжений в очагах землетрясений, что расширяет и углубляет знания о подготовке разрушительных землетрясений. Представленный научный результат может быть применен в комплексной технологии оценки сейсмической опасности в районах контакта глобальных тектонических плит.

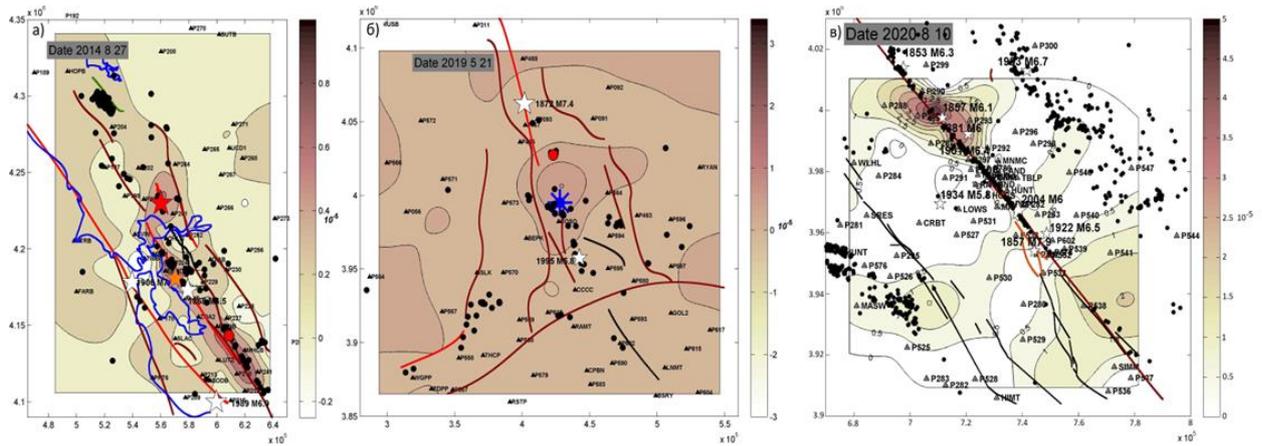


Рисунок 1.1 – Медленные волны деформации полного сдвига в регионе Калифорния: а) сброс напряжений в очаге землетрясения Напа; б) концентрическая волна перед сбросом напряжений в очаге землетрясения Риджкрест; в) развитие деформационной волны в районе ожидания сильного землетрясения Паркфилд. Красные окружности и звезды – эпицентры умеренных и сильных сейсмических событий. Белые звезды – эпицентры исторических крупных и сильных сейсмических событий

Кафтан В.И., Татаринов В.Н. Регистрация медленных деформационных волн по данным ГНСС-наблюдений // Доклады Российской академии. Науки о Земле. 2022. Т. 505, № 1. С. 95–102 DOI: 10.31857/S268673972207009X

Геоинформационная система краткосрочного прогноза интенсивности полярных сияний и положения аврорального овала

Д.т.н. А.В. Воробьев, чл.-корр. РАН А.А. Соловьев, д.ф.-м.н. В.А. Пилипенко, д.т.н. Г.Р. Воробьева

(Грант РНФ № 21-77-30010 «Системный анализ динамики геофизических процессов в российской Арктике и их воздействие на развитие и функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта»)

Наиболее активные проявления космической погоды наблюдаются в области овала полярных сияний, особенно его экваториальной границы. В 2022 г. была разработана интерактивная геоинформационная система краткосрочного (с горизонтом 30-70 мин) прогноза интенсивности полярных сияний и положения аврорального овала в режиме реального времени на базе технологии «виртуальный глобус» (<https://aurora-forecast.ru/>) (рис. 1.2). В качестве базового математического обеспечения используется эмпирическая модель OVATION-Prime, устанавливающая статистические связи между параметрами солнечного ветра, межпланетного магнитного поля и потоками авроральных частиц. Система также осуществляет прогноз и визуализацию распределения электрического потенциала в арктическом регионе, а также позволяет проводить работу с

пользовательскими слоями (распределение высокоширотных веток ЛЭП, железных дорог и пр.). Прогноз обеспечивается за счет эффективного использования данных в реальном времени с межпланетных спутников, находящихся между Землей и Солнцем (в точке Лагранжа L1) и предоставляющих информацию о состоянии параметров солнечного ветра. Помимо прогноза, разработанный сервис дает возможность анализа прошедших событий. Наряду с фундаментальной значимостью, прогноз интенсивности сияний и положения овала исключительно важен для предупреждения и своевременной защиты высокотехнологичных систем в арктическом регионе от негативного воздействия космической погоды. К таким системам относятся энергетические сети, трубопроводы, железнодорожная инфраструктура, наклонно-направленное бурение, радиосвязь и т. д. Особенно это актуально сейчас, в начале очередного цикла солнечной активности.

Данный сервис был удостоен 1-го места на конкурсе веб-ГИС приложений в рамках международной конференции пользователей Esri в России и СНГ.

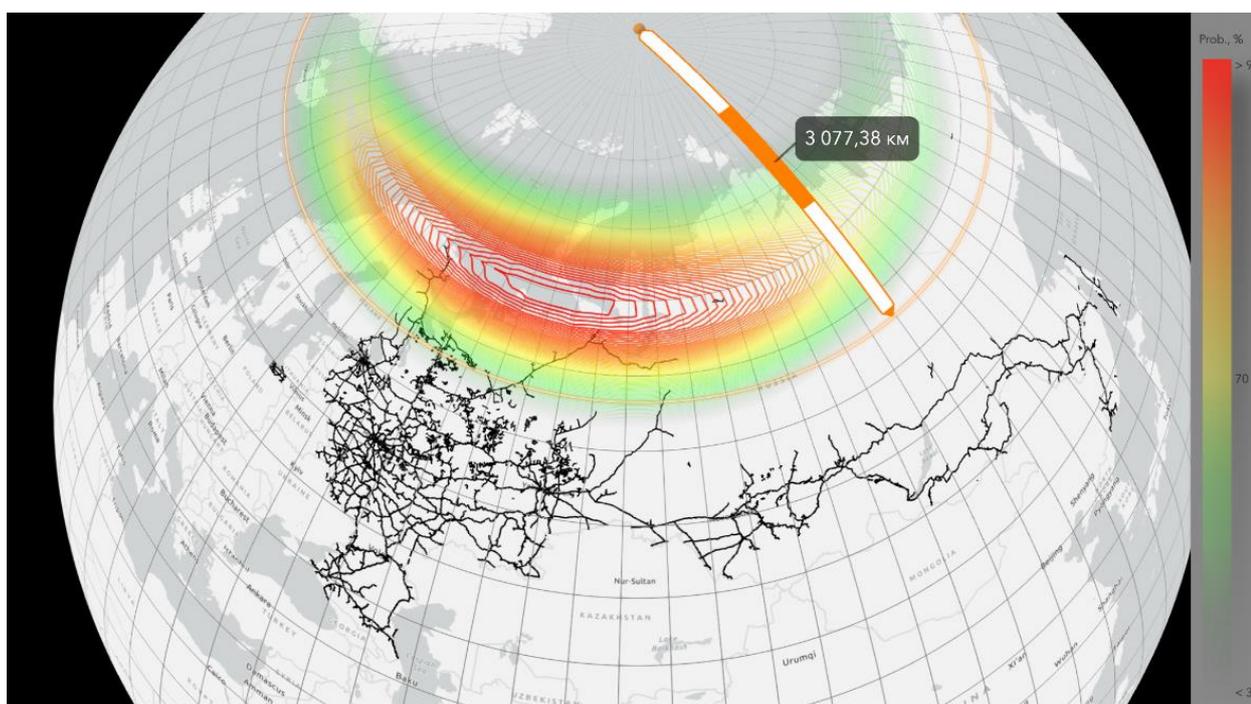


Рисунок 1.2 – Интерактивная визуализация вероятности полярных сияний и положения аврорального овала

Воробьев А.В., Соловьев А.А., Пилипенко В.А., Воробьева Г.Р. Интерактивная компьютерная модель для прогноза и анализа полярных сияний // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 2. С. 93–100. DOI: 10.12737/szf-82202213

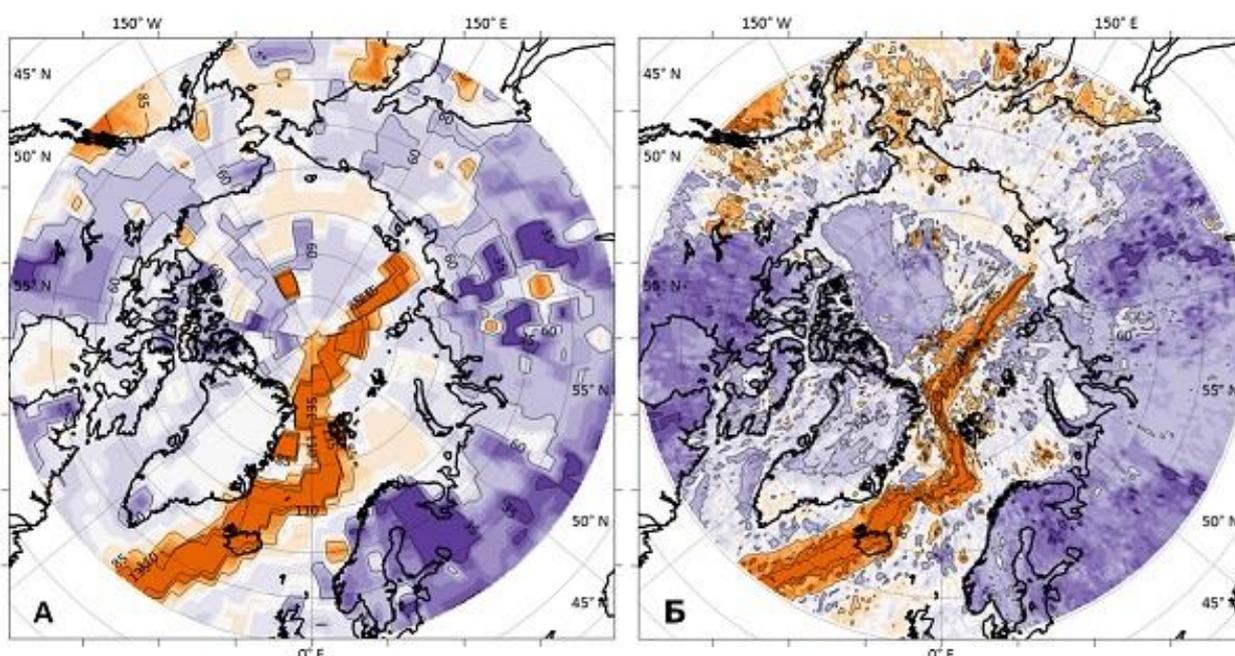
Новая модель теплового потока Арктики

*К.ф.-м.н. А.Г. Петрунин, д.ф.-м.н. М.К. Кабан, чл.-корр. РАН А.А. Соловьев,
к.ф.-м.н. Р.В. Сидоров, академик РАН А.Д. Гвишиани*

(Грант РФФИ № 21-77-30010 «Системный анализ динамики геофизических процессов в российской Арктике и их воздействие на развитие и функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта»)

В результате изучения термической структуры арктической литосферы по комплексу геофизических данных получена модель геотермального теплового потока. Для построения новой модели был использован каталог Международной комиссии по тепловому потоку (IHFC) и его глобальные теоретические модели, основанные на интерполяции прямых измерений. Расчет теплового потока основан на оптимизационной задаче инверсии сейсмических и магнитных данных, подкрепленных прямыми измерениями, и позволяет использовать все имеющиеся косвенные данные о термическом строении литосферы и минимизировать ошибки. Новая модель хорошо согласуется с данными наблюдений и соответствует представлениям о тектонической истории арктической литосферы. Модель показывает некоторые особенности, которые не были идентифицированы предшествующими моделями – в частности, зоны повышенного теплового потока в Беринговом проливе, Чукотском море и в древней рифтовой зоне, разделяющей Восточную и Среднюю Сибирь (рис. 1.3).

Данный результат был отобран в качестве одного из важнейших достижений институтов Отделения наук о Земле РАН в 2022 г. и включен в доклад академика-секретаря.



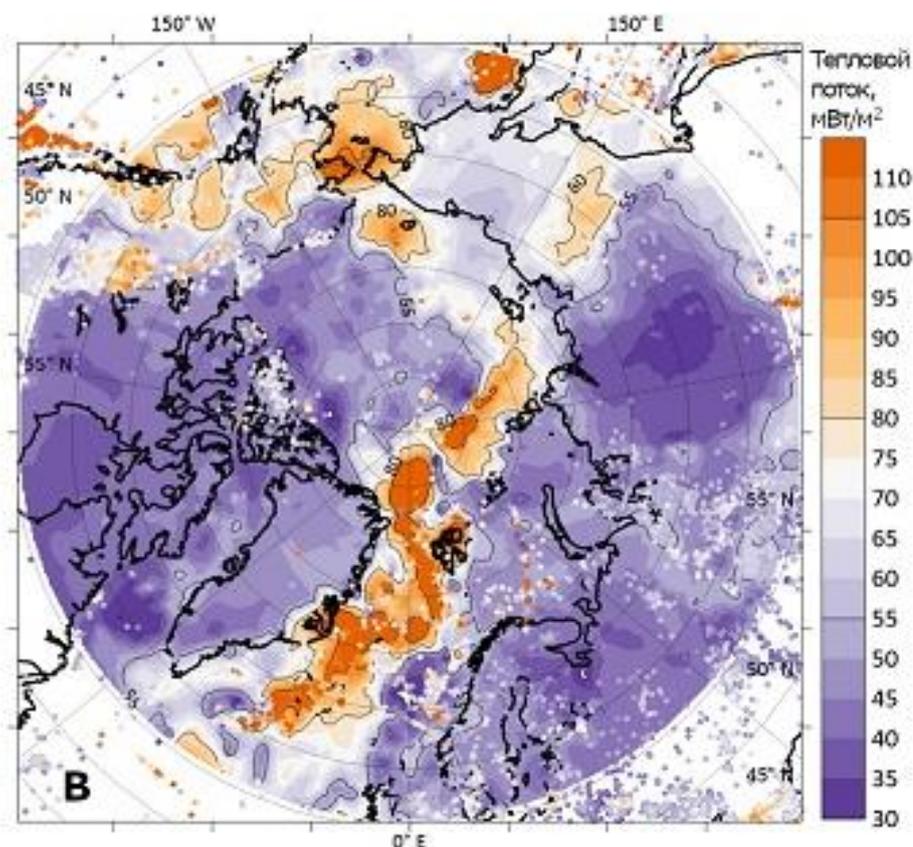


Рисунок 1.3 – Сравнение карт теплового потока Арктики по последним глобальным моделям: а) Davies, 2013 и б) Lucazeau, 2019 с картой в) новой модели теплового потока. Цветные точки показывают местоположение и значения прямых измерений теплового потока

Petrinin A.G., Soloviev A.A., Sidorov R.V., Gvishiani A.D. Inverse-forward method for heat flow estimation: case study for the Arctic region // Russian Journal of Earth Sciences. 2022. Vol. 22, No. 6. DOI: 10.2205/2022ES000809

Унифицированный каталог землетрясений восточного сектора Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ)

Академик РАН А.Д. Гвишиани, к.ф.-м.н. И.А. Воробьева, чл.-корр. РАН П.Н. Шебалин, д.ф.-м.н. Б.А. Дзедобоев, к.г.-м.н. Б.В. Дзеранов, к.ф.-м.н. А.А. Скоркина

(Грант РНФ № 21-77-30010 «Системный анализ динамики геофизических процессов в российской Арктике и их воздействие на развитие и функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта»)

Для целей создания наиболее полного каталога землетрясений региона АЗРФ разработан метод системного анализа, позволяющий осуществлять автоматизированное последовательное объединение любого количества каталогов путем идентификации и удаления образующихся дублей. На его базе создан унифицированный каталог

землетрясений восточного сектора АЗРФ. В нем отражена информация о 23 254 сейсмических событиях за период 1962-2020 гг., содержащихся в региональных каталогах ЕГС РАН (15 473 событий) и Международного сейсмологического центра (ISC) (7 781 событий). Проведен анализ соотношения типов магнитуд в объединенном каталоге для различных сейсмических сетей. На основе полученных соотношений проведена унификация оценок магнитуд. Тем самым для восточного сектора АЗРФ создан наиболее полный унифицированный каталог землетрясений (рис. 1.4).

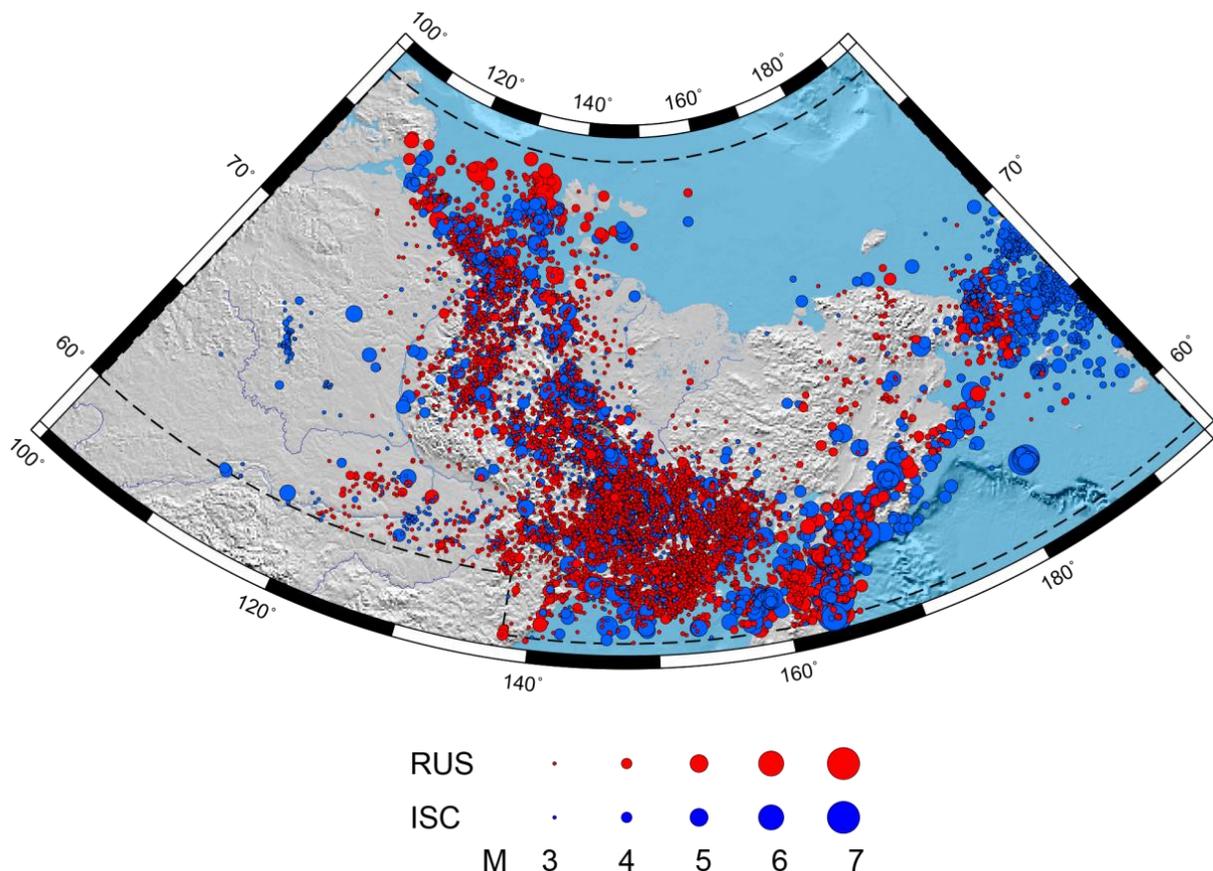


Рисунок 1.4 – Карта эпицентров землетрясений унифицированного каталога восточного сектора Арктической зоны Российской Федерации

Vorobieva I.A., Gvishiani A.D., Dzeboev B.A., Dzeranov B.V., Barykina Yu.V., Antipova A.O. Nearest neighbor method for discriminating aftershocks and duplicates when merging earthquake catalogs // *Frontiers in Earth Science*. 2022. Vol. 10. 820277. DOI: 10.3389/feart.2022.820277.

Gvishiani A., Vorobieva I., Shebalin P., Dzeboev B., Dzeranov B., Skorkina A. Integrated earthquake catalog of the Eastern Sector of Russian Arctic // *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12. 5010. DOI: 10.3390/app12105010



1.4 Академические достижения сотрудников. Награды и премии

В 2022 г. заведующий лабораторией геодинамики, г.н.с. В.Н. Татаринов (рис. 1.5) был избран в члены-корреспонденты РАН по Отделению наук о Земле РАН по специальности «горные науки, геоэкология». Виктор Николаевич – специалист в области геоэкологии, автор более 170 научных работ, из них 2 монографии, 4 учебных пособия, 14 авторских свидетельств, 4 нормативных документа по ядерной и радиационной безопасности.



Рисунок 1.5 – Член-корреспондент РАН В.Н. Татаринов

В 2022 г. сотрудники ГЦ РАН были удостоены высоких ведомственных наград Минобрнауки России (рис. 1.6). Г.н.с. лаборатории геодинамики В.Н. Морозов был награжден медалью «За вклад в реализацию государственной политики в области образования и научно-технологического развития». В.н.с. лаборатории геофизических данных Н.А. Сергеева была награждена медалью «За безупречный труд и отличие». Благодарность от Минобрнауки России была объявлена следующим сотрудникам ГЦ РАН: г.н.с. С.М. Агаяну, в.н.с. Ш.Р. Богоутдинову, с.н.с. Л.П. Забаринской, зав. лаб., в.н.с. Э.О. Кедрову, уч. секретарю, в.н.с. Р.И. Краснопёрову, н.с. Т.А. Крыловой, в.н.с. Ю.С. Любовцевой.



Рисунок 1.6– Г.н.с. С.М. Агаян, н.с. Т.А. Крылова, с.н.с. Л.П. Забаринская, зав. лаб., в.н.с. Э.О. Кедров, в.н.с. Н.А. Сергеева, в.н.с. Ш.Р. Богоутдинов, уч. секретарь, в.н.с. Р.И. Краснопёров



В 2022 г. был дан старт Десятилетию науки и технологий в России, в рамках которого был реализован проект по популяризации достижений российских молодых ученых. От ГЦ РАН участниками данного проекта стали: зам. директора, г.н.с. Б.А. Дзебоев, с.н.с. Д.В. Кудин и в.н.с. Р.В. Сидоров (рис. 1.7).

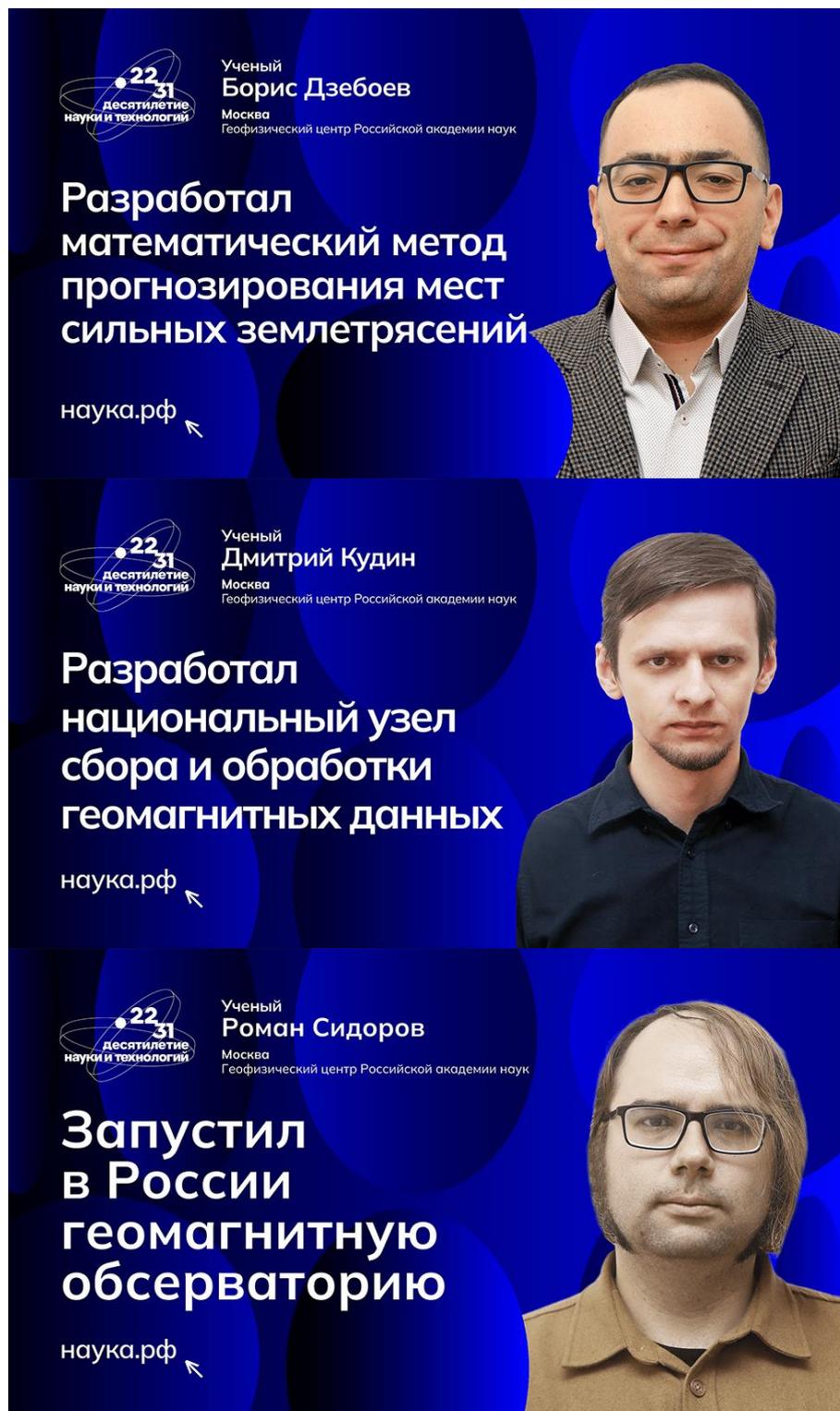


Рисунок 1.7 – Участники проекта Десятилетия науки и технологий в России: г.н.с. Б.А. Дзебоев, с.н.с. Д.В. Кудин и в.н.с. Р.В. Сидоров



1.5 Договорная деятельность

В 2022 году договорная деятельность ГЦ РАН включала выполнение обязательств по 5 договорам.

- 1 Договор на выполнение НИР.
Предмет: Прикладные и экспериментальные исследования методов и средств фундаментального обеспечения системы ГЛОНАСС в части уточнения параметров магнитного поля Земли.
Заказчик: АО «ЦНИИмаш».
- 2 Договор на выполнение НИР.
Предмет: Создание электронного атласа климатических изменений основных гидрометеорологических параметров западной части российской Арктики за период 1950–2021 гг. и разработка рекомендаций по организации устойчивой стабильной технологической радиосвязи, спутниковой радиосвязи и навигации железнодорожного транспорта с учетом результатов исследования.
Заказчик: АО «НИИАС».
- 3 Договор на выполнение НИР.
Предмет: Создание магнитной обсерватории на полуострове Ямал (пос. Сабетта) для проведения геомагнитных исследований в арктическом регионе.
Заказчик: Компания Schlumberger.
- 4 Договор на ОКР.
Предмет: Разработка аппаратно-программного комплекса со сферическим демонстрационным экраном для визуализации геопространственных данных с диаметром экрана один метр.
Заказчик: Санкт-Петербургский горный университет.
- 5 Договор на оказание услуг.
Предмет: Услуги по изданию специального выпуска журнала Russian Journal of Earth Sciences.
Заказчик: Майкопский государственный технологический университет.



1.6 Экспедиции и полевые работы

В 2022 г. сотрудники ГЦ РАН приняли участие в целом ряде экспедиций и выезжали на научные полевые работы (рис. 1.8). Среди прочих следует выделить:

- Работа на магнитных обсерваториях «Санкт-Петербург» (А.Л. Котиков), «Климовская» (В.В. Кабров), «Белое море» (Н.А. Вершинин), «Арти» (П.Б. Бородин), «Новосибирск» (Н.Н. Семаков).
- Магнитная обсерватория «Михнево», Московская обл. (январь, июль, октябрь).
Участники: Д.Ж. Акматов, А.А. Груднев, Д.В. Кудин, Д.Д. Лазарев, А.И. Маневич, М.В. Нисилевич, М.А. Пасишниченко, Р.В. Сидоров, Р.В. Шевчук.
Задачи: Тестирование системы питания. Контрольная съемка вариационного павильона. Установка полного комплекта оборудования в павильонах. Определение азимута визирной цели.
- Магнитная обсерватория «Белое море», Республика Карелия (март, июль).
Участники: А.А. Груднев, Д.В. Кудин, А.В. Хохлов.
Задачи: Монтаж обновленной системы питания. Повторная установка магнитометра POS-4. Утепление павильона.
- Магнитная обсерватория «Борок», Ярославская обл. (апрель).
Участники: И.М. Алёшин, А.А. Груднев, Р.В. Шевчук.
Задачи: Испытания аэромагнитного комплекса.
- Магнитная обсерватория «Янгибазар» Института сейсмологии АН РУз, Узбекистан (апрель).
Участники: А.А. Соловьёв, Р.В. Сидоров, Р.И. Краснопёров.
Задачи: Магнитные исследования территории обсерватории.
- Ляскельское сельское поселение Питкярантского района, Республика Карелия (май).
Участники: И.М. Алёшин, Р.В. Шевчук.
Задачи: Проведение аэромагнитной съемки.
- Магнитная обсерватория «Климовская», Архангельская обл. (июль, август, октябрь).
Участники: А.А. Груднев, Д.В. Кудин, М.А. Пасишниченко.
Задачи: Технические и ремонтные работы. Обновление сетевой и силовой инфраструктуры. Замена вариометра.
- Нижнеканский геодинамический полигон, Красноярский край (август).
Участники: С.М. Забродин, И.В. Лосев, А.И. Маневич, Р.В. Шевчук.
Задачи: Проведение геодезических и геодинамических изысканий.



Рисунок 1.8 – Экспедиции ГЦ РАН в 2022 г.

1.7 Популяризация науки

С 6 по 9 июня 2022 г. в Подмосковье на базе отеля «Свежий ветер» (Дмитровский р-н, д. Курово) прошла II Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (<https://school2022.gcras.ru/>). Школа собрала молодых ученых из различных регионов России, включая города: Архангельск, Владикавказ, Екатеринбург, Москва, Оренбург, Пермь, Ростов-на-Дону, Санкт-Петербург, Сыктывкар, Тамбов, Томск, Челябинск, Якутск. Программа Школы включала лекции ведущих российских ученых и практические занятия по направлениям геомагнетизма, литологии, сейсмологии, океанологии, климатологии, а также науки о данных. Слушатели приняли участие в деловой игре, в ходе которой были подготовлены проекты программ научной экспедиции в Арктику. Одними из основных задач Школы было показать необходимость комплексных геофизических исследований АЗРФ и продемонстрировать имеющиеся инструменты и подходы для решения научных задач региона. С лекциями и семинарами выступили 24 известных российских ученых. В качестве слушателей в школе приняли участие 47 молодых ученых в возрасте до 35 лет включительно. Всего в мероприятии приняли участие 77 человек (рис. 1.9). Для более эффективного общения со слушателями был запущен Telegram-канал: <https://t.me/geoarctic>.

Школа была организована при поддержке Российского научного фонда в рамках гранта № 21-77-30010 «Развитие физических моделей для оценки риска негативного воздействия космической погоды на технологические системы».



Рисунок 1.9 – Лекторы и слушатели II Всероссийской школы молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике»



Ряд федеральных и региональных изданий и новостных порталов опубликовали материалы об этом событии:

- Вестник Отделения наук о Земле РАН (№1 <https://onznews.wdcb.ru/jun22/otkrytie-ii-vserossijskoj-shkoly-molodykh-uchenykh-sistemnyj-analiz-dinamiki-prirodnikh-protseessov-v-rossijskoj-arktike.html>);
- Вестник Отделения наук о Земле РАН (№2 <https://onznews.wdcb.ru/jun22/vtoroj-den-ii-vserossijskoj-shkoly-molodykh-uchenykh.html>);
- Вестник Отделения наук о Земле РАН (№3 <https://onznews.wdcb.ru/jun22/tretij-den-ii-vserossijskoj-shkoly-molodykh-uchjonykh.html>);
- Вестник Отделения наук о Земле РАН (№4 <https://onznews.wdcb.ru/jun22/itogi-ii-vserossijskoj-shkoly-molodykh-uchjonykh.html>);
- РАН (<https://new.ras.ru/activities/events/ii-vserossiyskaya-shkola-molodykh-uchenykh-sistemnyu-analiz-dinamiki-prirodnikh-protseessov-v-rossiys/>);
- Портал «Селдон-Новости» (<https://news.myseldon.com/ru/news/index/270464169>);
- Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН (https://www.itpz-ran.ru/ru/ii_school_of_young_scientists/);
- ИСТИНА МГУ (<https://istina.msu.ru/conferences/469767240/>);
- Полярный геофизический институт (<http://pgia.ru/lang/ru/archives/10400>);
- Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина (http://tehnopark.tsutmb.ru/media/news/2022/220616_455);
- Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО) (<http://www.vniro.ru/ru/novosti/novosti-za-2022-god/perspektivnye-nauchnye-proekty-predstavili-molodye-spetsialisty-v-ramkakh-vserossijskoj-shkoly-molodykh-uchenykh>);
- Азово-Черноморский филиал ВНИРО (<http://azniirkh.vniro.ru/novosti/perspektivnyie-nauchnyie-proektyi-predstavili-molodyie-spetsialisty-i-v-ramkah-vserossiyskoy-shkolyi-molodyih-uchenyih/?ysclid=1530jprs9c687955818>);
- Новостной портал «Фишнет» (<https://www.fishnet.ru/news/company/perspektivnye-nauchnye-proekty-predstavili-molodye-specialisty-v-ramkah-vserossiyskoy-shkoly-molodyh-uchenyh/>);
- Новостной портал «Рыба Камчатского края» (<http://fishkamchatka.ru/articles/russia/45821/>);
- Геофизический институт ФИЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук» (<http://cgiras.ru/ru/news/get/393>);



- АО «НИИАС» (<https://telegra.ph/NOVOSTI-NIIAS-06-27>);
- Портал GeologyScience.ru (<http://geologyscience.ru/2022/04/05/ii-всероссийская-школа-молодых-учёных/>).

В 2022 г. сотрудники ГЦ РАН также вели активную работу в сфере популяризации и широкого распространения научного знания в СМИ.

- Газета «Правда Севера», «Поймать северное сияние в Архангельске стало проще» (<https://pravdasevera.ru/2022/02/03/61fbc714189fefa9ff4c2712.html>);
- Веб-сайт Института сейсмологии им. Г. А. Мавлянова Академии Наук Республики Узбекистан, «Сотрудники Геофизического центра РАН посетили Институт сейсмологии АН РУз» (<https://www.seismos.uz/rus.html>);
- Веб-сайт Академии Наук Республики Узбекистан, «Развивается международное сотрудничество ученых в области сейсмологии» (<https://www.academy.uz/ru/news/seysmologiya-sohasida-xalqaro-hamkorlik>);
- Научная Россия, «Импортозамещение — глубоко научная задача, считает академик Алексей Гвишиани» (<https://scientificrussia.ru/articles/importozamesenie-glubok-naucnaa-zadaca-scitaet-akademik-aleksej-gvisiani>);
- Российская академия наук, «Состоялся научный российско-индийский вебинар «Сейсмология: мониторинг и прогнозирование» (<https://new.ras.ru/activities/news/sostoyalsya-nauchnyy-rossiysko-indiyskiy-vebinar-seysmologiya-monitoring-i-prognozirovanie/>);
- Российская академия наук: «Игорь Розенберг: «Решение важнейших задач развития транспортного комплекса страны невозможно без использования новейших достижений РАН» (<https://new.ras.ru/activities/news/igor-rozenberg-reshenie-vazhneyshikh-zadach-razvitiya-rossiyskikh-zheleznykh-dorog-nevozmozhno-bez-i/>);
- Общественное телевидение России «ДОМ «Э» «Арктика: научные исследования и перспективы освоения» (<https://otr-online.ru/programmy/dom-e/arktika-nauchnye-issledovaniya-i-perspektivy-osvoeniya-62851.html>);
- Программа Первого канала «Доброе утро»: «И все-таки она вертится! И очень быстро» (<https://www.1tv.ru/-/vhvfd>);
- Российский университет транспорта (МИИТ): «Студентам РУТ (МИИТ) рассказали про технологии больших данных на транспорте» (<https://www.miit.ru/news/182511>).



2 Фундаментальные исследования и разработка методов прогнозирования и мониторинга устойчивости геологической среды для предупреждения угроз от объектов использования атомной энергии и природных опасностей

Шифр темы: FMWG-2022-0005

Регистрационный №: 122080300206-4

Руководитель: зав. лаб., чл.-корр. РАН, д.т.н. В.Н. Татаринов
Ответственные исполнители: г.н.с., проф., д.т.н. В.Н. Морозов
г.н.с., д.т.н. В.И. Кафтан
н.с. А.И. Маневич

2.1 Изучение закономерностей деформаций земной поверхности в сейсмически опасных районах мира по результатам многолетних ГНСС-наблюдений, в том числе в очагах сильных землетрясений

В 2022 г. были выполнены исследования по анализу многолетних данных ГНСС-наблюдений в сейсмоопасных районах, цель работ - выявление взаимосвязи между динамикой распространения медленных деформационных волн и сильными сейсмическими событиями. Объектом исследований было выбрано западное побережье Северной Америки. Предполагался анализ проявлений деформационных предвестников сильных землетрясений, сосредоточенных, главным образом, в эпицентральных зонах сильных землетрясений, для которых накоплены длительные ряды ГНСС-наблюдений. Ввиду того, что ГНСС-сети и эпицентры сильных землетрясений были расположены на активной границе Северо-Американской и Тихоокеанской тектонических плит, где преобладают деформации сдвига по простиранию сейсмогенерирующих разломов, анализировались деформации полного сдвига:

$$\gamma = ((\varepsilon_n - \varepsilon_e)^2 + \gamma_{ne}^2)^{1/2} \quad (2.1)$$

Цифровые модели, накопленные от начального цикла деформаций полного сдвига на каждые сутки наблюдений, представляли в виде кадров специальной кинематической анимации – видеофайла, демонстрирующего ход деформационного процесса в пространстве и времени.

Полученные визуализации представляют интерес для анализа протекания сейсмодформационного процесса в режиме реального времени и представляют их эвристический анализ. Видео-анимации размещены на научном информационном ресурсе Research Gate по адресам: <https://doi.org/10.2205/ESDB-Hikurangi-shear>, <https://doi.org/10.2205/ESDB-Hikurangi-dilatatio>, <https://doi.org/10.2205/ESDB-Hikurangi-move>

Двумерная концентрическая автоволна перед землетрясением Риджкrest

Аналогичный анализ осуществлен для землетрясения Риджкrest (июль 2019 г., США, Калифорния) $M_w = 7,1$. Для периода с 19.06.2006 г. по 02.08.2019 г. построена кинематическая визуализация сейсмореформационного процесса. Ее ключевые кадры представлены на рис. 2.1, а сравнение характеристик деформационных волн – в табл. 2.1.

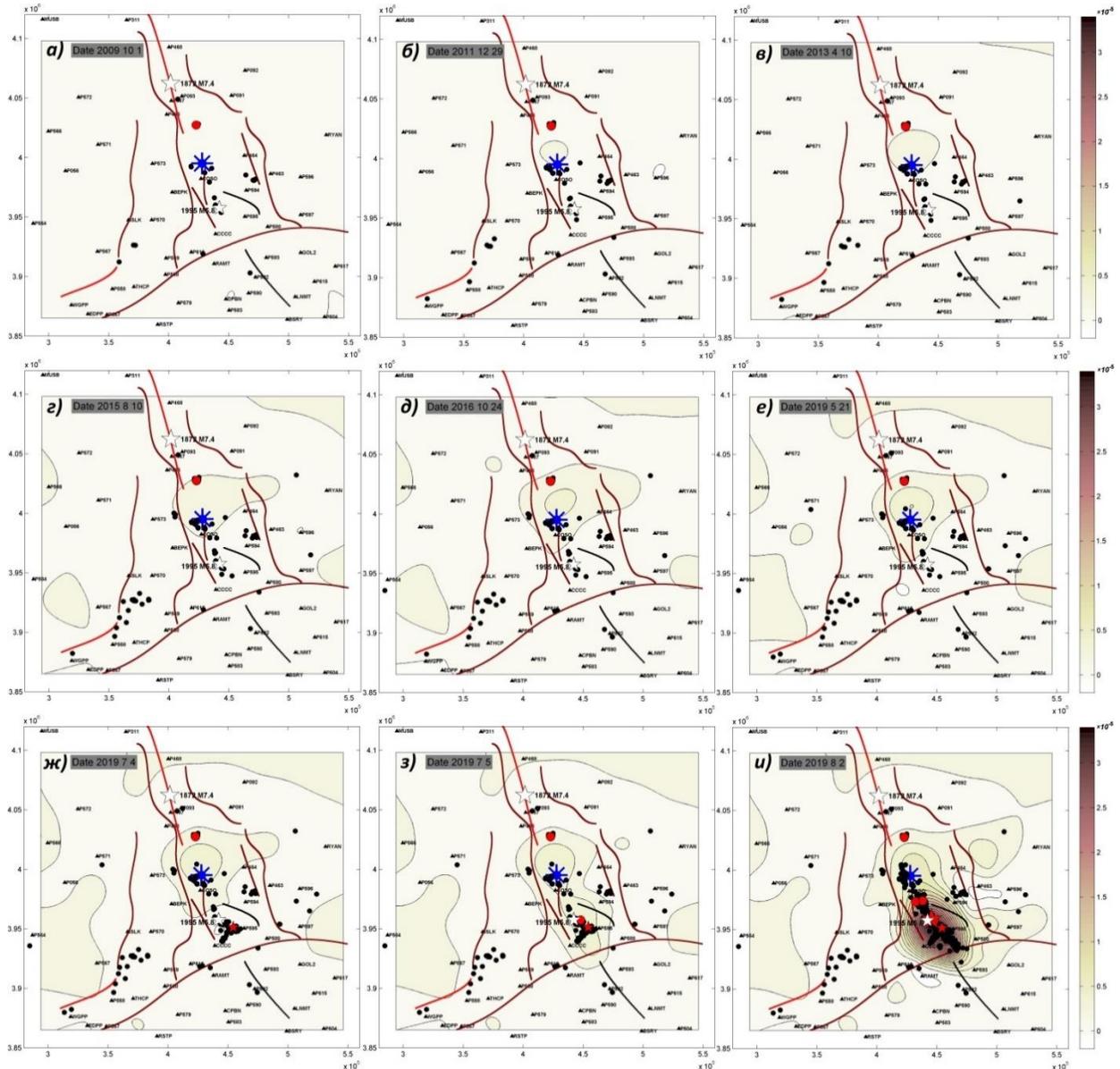


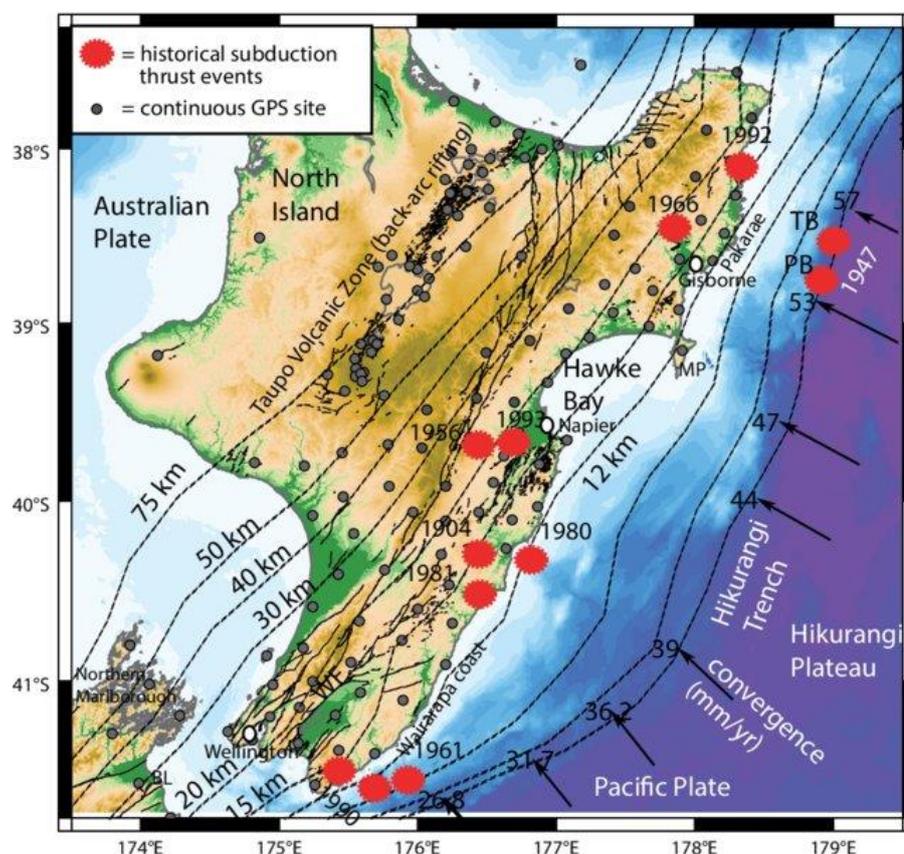
Рисунок 2.1 – Деформации полного сдвига перед землетрясениями Риджкrest 2019 г.

Таблица 2.1 – Характеристики выявленных деформационных волн для землетрясений Напа, Риджкrest и Паркфилд

Землетрясение, год	Магнитуда, M_w	Глубина, км	Спускосая деформация	Скорость распространения, км/год	Косейсмический полный сдвиг
Напа, 2014	6,01	11	$0,27 \times 10^{-5}$	20	$1,5 \times 10^{-5}$
Риджкrest, 2019	6,4 и 7,1	11 и 8	$0,18 \times 10^{-5}$	7	3×10^{-5}
Паркфилд, 2022? [*]	> 5,9	?	?	2	?

* - указано прогнозируемое землетрясение в районе Паркфилд в интервале 2022-2029 гг.

Было также исследовано деформационное взаимодействие сильных землетрясений 2010-2016 гг. в уникальном районе земного шара - зоне влияния суперплюма Хикуранги (Новая Зеландия). В этом регионе с 2010 по 2016 гг. Новая Зеландия испытала беспрецедентную серию сильных землетрясений $M > 6$, общим числом 11 событий. Среди них были два сильнейших: землетрясения Кайкоура ($M = 7,8$; 13 ноября 2016 г.) и Дарфилд ($M = 7,1$; 03 сентября 2010 г.). Была поставлена задача изучения эволюции деформаций земной коры в более обширной, чем в других исследованиях области, охватывающей эпицентральные зоны указанных сейсмических событий (рис. 2.2, рис. 2.3).



**Рисунок 2.2 – Тектоническая обстановка зоны субдукции Хикуранги.
Черные линии – глубина до границы субдукции**

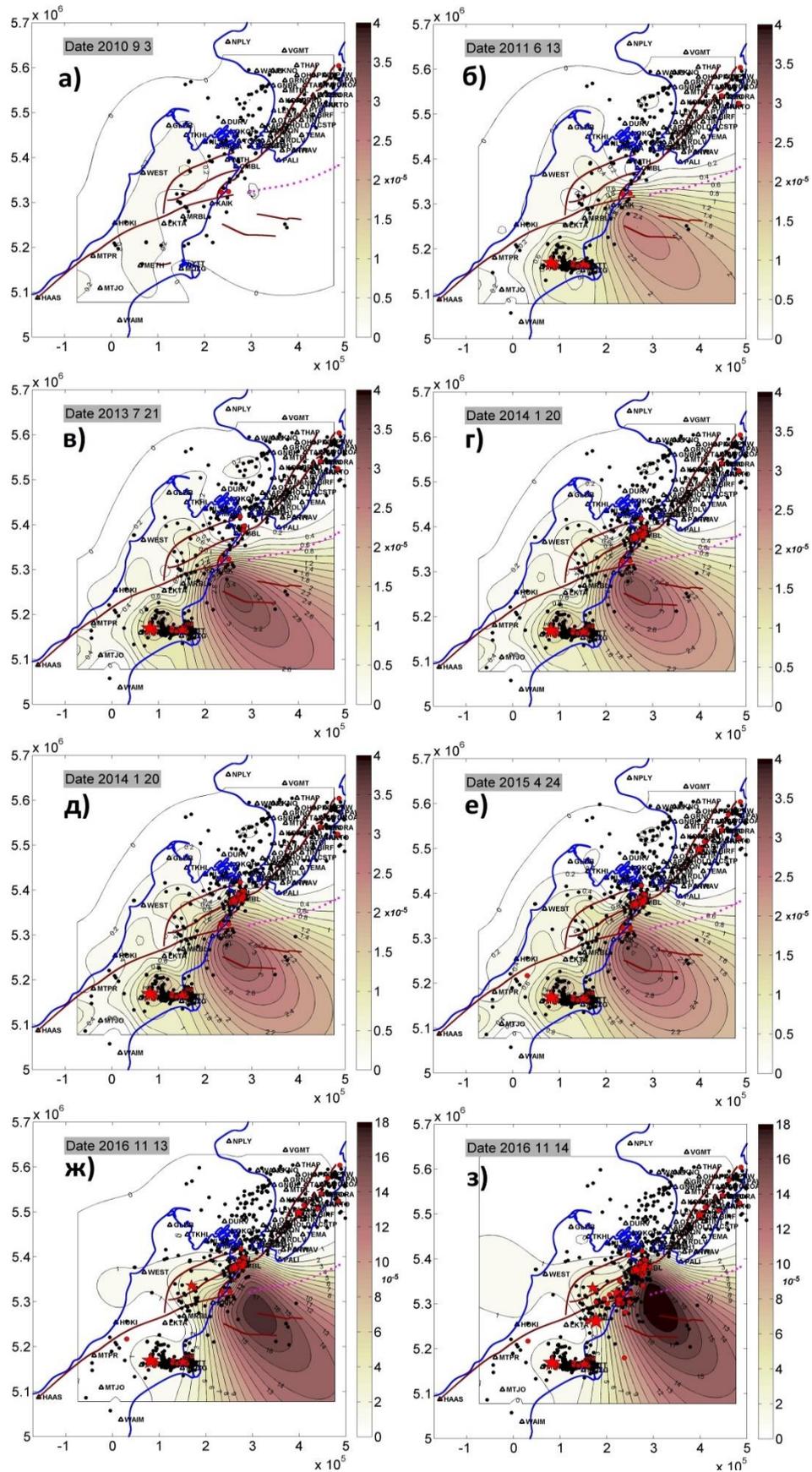


Рисунок 2.3 – Эволюция деформации полного сдвига в связи с ходом сейсмической активности сильных землетрясений Новой Зеландии в 2008-2021 гг.



Кадры распределения интенсивности, накопленных перед событиями внутренних смещений, представлены на рис. 2.4. Они показывают, что землетрясения возникли на осевой линии области минимальных смещений, направленной с юго-запада на северо-восток. Кадры накопленных смещений после землетрясений показывают, что они в своих эпицентральных зонах разрядили накопленные напряжения и воспроизвели смещения, достигающие 0,3 м.

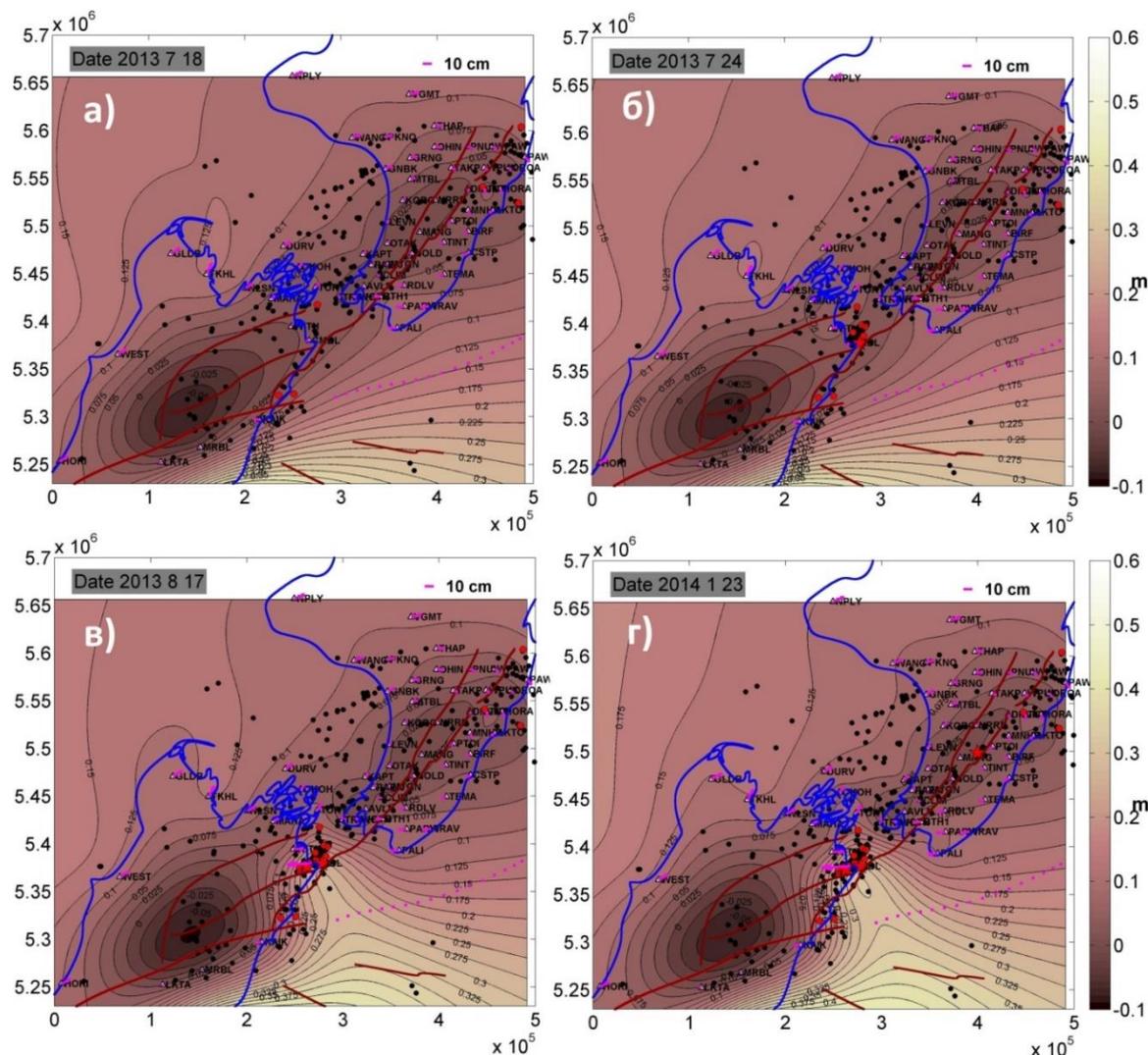


Рисунок 2.4 – Дефицит внутренних смещений земной коры в связи с землетрясениями в проливе Кука

Выводы.

В процессе исследований современных движений и деформаций земной коры в связи с сильнейшими землетрясениями нашего столетия, произошедшими в Новой Зеландии, выявлены следующие важные особенности эволюции сейсмодеформационного процесса: измерений.

Эффективность определения деформаций оценивали с помощью дисперсионного отношения:



1. Три серии сильнейших землетрясений 2010-2016 гг. могут быть взаимосвязаны общим деформационным процессом. Начало совокупности сейсмических событий обусловлено образованием аномальной деформации полного сдвига, последовательно переходящей от одной серии к другой, по-видимому, играющей роль триггерного механизма.
2. Концентрация генерального максимума сдвиговой деформации сосредоточена непосредственно на тройном сочленении Кайкоура, в месте активности недавно открытого редкого объекта – мантийного суперплюма.
3. Перед всеми тремя сериями сильнейших сейсмических событий в области их будущих эпицентров образовывались зоны дефицита внутренних смещений земной коры, что представляет важную информацию для разработки прогноза места возникновения сильных землетрясений.
4. Выявленные закономерности и особенности существенно расширяют знания об эволюции сейсмодформационного процесса в районах сильных коровых землетрясений.

2.2 Разработка моделей напряженно-деформированного состояния в эпицентральных зонах сильных коровых землетрясений и анализ тектонических процессов в геологической среде при последующем развитии афтершоковой активности

В 2022 г. были продолжено построение и анализ численных моделей напряженно-деформированного состояния (НДС) верхней части земной коры в эпицентральных зонах сильных коровых землетрясений. В 2022 г. было выполнено моделирование для землетрясения *Маули (Maule)* $M_w = 8,8$, которое произошло 27 февраля 2010 г. на глубине 35 км у побережья Тихого океана (Чили). По данным USGS координаты эпицентра землетрясения Маули $36,122^\circ\text{S}$ и $72,898^\circ\text{W}$. Механизм очага соответствует мега взбросу.

Сильные землетрясения западной окраины Южно-Американской плиты (ЮАП) с магнитудой более 7,5 образуют площадь локализации афтершоков протяженностью более 5 тыс. км, вытянутую вдоль западной окраины плиты. Гипоцентры землетрясений с $M < 6$ локализованы в интервале глубин от 0 до 100 км и более. Гипоцентры фоновой сейсмичности с $M > 4$ в широтном разрезе $33-35^\circ$ ю.ш. формируют зону сеймотектонической деструкции, погружающуюся под континент (зону Беньёфа).

С учетом геофизических данных о мощности литосферы на рис. 2.5 представлен гипотетический широтный разрез литосферы ЮАП вдоль $\sim 22^\circ$ ю.ш. Предполагаемая

асимметрия разреза подошвы дает возможность задать предполагаемое соотношение действующих сил изостатического выравнивания, в предположении дифференциации скоростей кристаллизации мантийного расплава на границе литосфера-верхняя мантия. Условно за единицу принимается величина силы, действующая на элементарную горизонтальную площадку на глубине 50 км и равная нулю на глубине около 200 км.

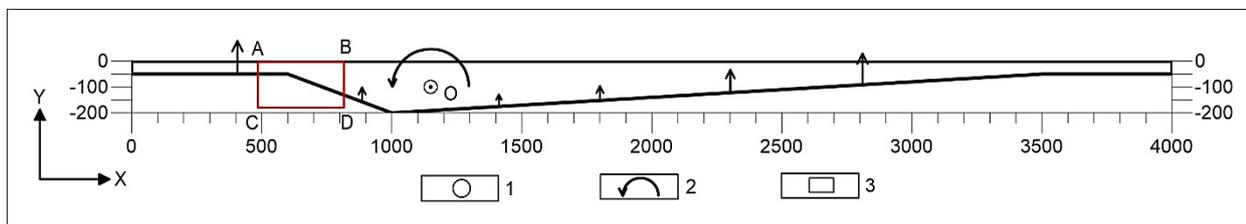


Рисунок 2.5 – Модель широтного разреза Западной окраины Южно-Американской плиты (22-23° ю.ш.): 1 – центр ротации ЮАП; 2 – направление вращения; 3 – область моделирования напряженно-деформированного состояния западной окраины ЮАП

Для расчета НДС использовался метод конечных элементов и программное обеспечение *Comsol Multiphysics 5.6*. На рис. 2.6 представлен широтный разрез распределения интенсивности напряжений σ в литосфере, выраженной в относительных единицах, а на рис. 2.7 – компоненты σ_{xx} , σ_{xy} .

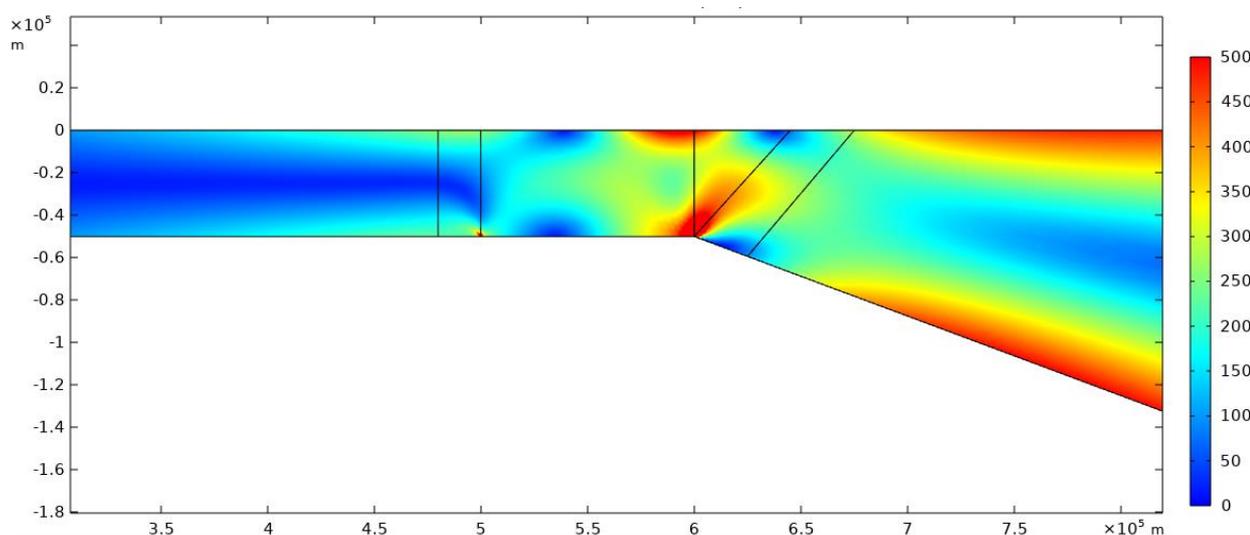


Рисунок 2.6 – Интенсивность напряжений в переходной зоне «континент-океан»

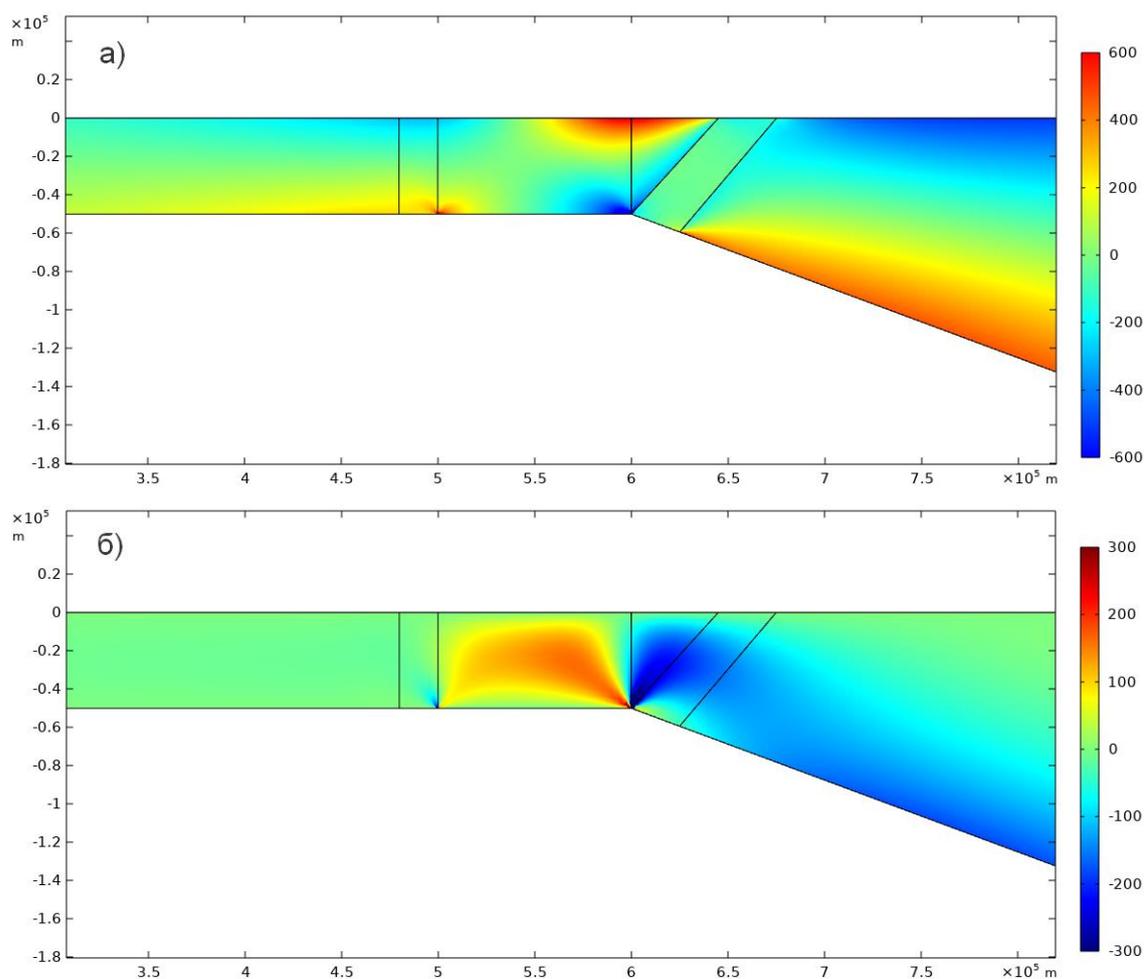


Рисунок 2.7 – Напряжения сжатия σ_{xx} (а) и сдвига σ_{xy} (б) в переходной зоне «континент – океан»

В итоге моделирования обобщающую модель литосферы этого района можно представить в виде широтного разреза (рис. 2.8), соответствующего 36° ю.ш. и 75° и 65° в.д. Восточнее оси глубоководного жёлоба, в интервале 72-73°, граница океанической литосферы на глубине ~ 50 км переходит в погружающуюся границу континентальной литосферы. Зона контакта океанической литосферы с континентальной представляет собой область сильных тектонических землетрясений прибрежной территории Чили. Растягивающие напряжения в приграничной зоне погружающейся границы континентальной литосферы стимулируют развитие мега трещин на глубине ~100 км, распространяющихся к земной поверхности. Под давлением легкие мантийные расплавы устремляются в эти трещины, стимулируя их развитие и последующее продвижение магмы к поверхности с образованием периферических вулканических очагов. В рамках предложенной модели литосферы и НДС, после сильных землетрясений, разрывы ослабляют контакт между океанической и континентальной литосферой. Резкое погружение континентальной литосферы в мантию вызывает возрастание давления вязкого

расплава, способствует проникновению в мега трещины и подъему к поверхности, вызывая вулканические извержения.

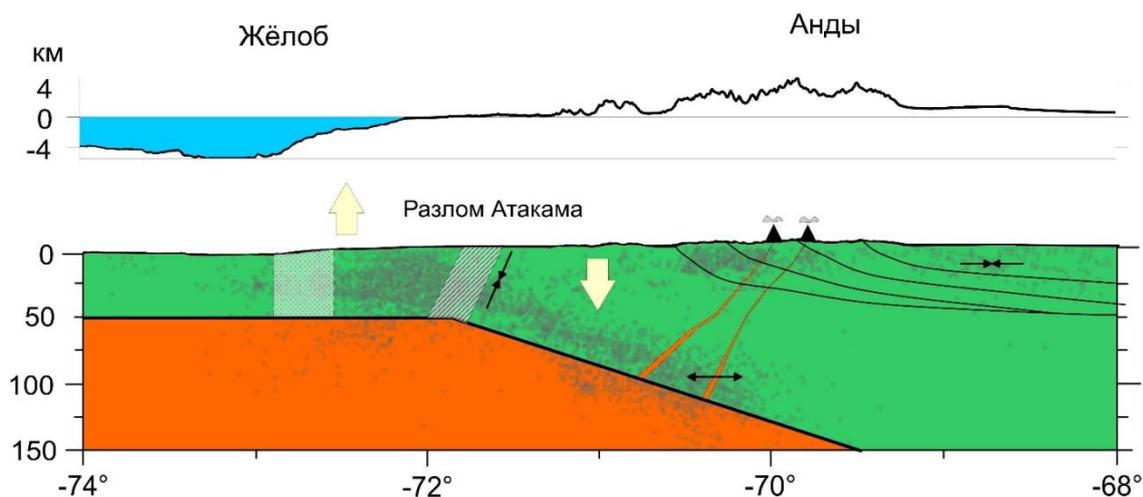


Рисунок 2.8 – Модель литосферы ЮАП, соответствующая 36° ю.ш

Представленная модель литосферы западной окраины ЮАП в сочетании с тестовой моделью НДС до и после сильных землетрясений в этом районе дают непротиворечивую картину возможного развития сейсмотектонического процесса и, как следствие, являются возможной основой новой парадигмы динамического межплитового взаимодействия «хрупкой» литосферы Земли.

Представленная модель литосферы западной окраины ЮАП в сочетании с тестовой моделью НДС до и после сильных землетрясений в этом районе дают непротиворечивую картину возможного развития сейсмотектонического процесса и, как следствие, являются возможной основой новой парадигмы динамического межплитового взаимодействия

2.3 Разработка структурно-тектонической модели участка «Енисейский»

Нижнеканского массива для задания граничных условий моделирования НДС

В 2021 г. в пределах Нижнеканского массива на участке «Енисейский» (Красноярский край) начато строительство уникального объекта в мировой практике - подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ). Одна из задач исследований в ПИЛ - создание цифровой трёхмерной модели участка «Енисейский», в пределах которого расположена ПИЛ. Первым шагом стали сбор и систематизация доступных геолого-геофизических данных и создание ГИС-ориентированной базы данных в среде *ArcGIS* (РИД «База данных напряженно-деформированного состояния Нижне-Канского массива (Stress-strainStateDataBase)»).

Модель структурно-тектонического блока (рис. 2.9) включает в себя четыре слоя: рельеф, четвертичные отложения (суглинки песчаные, глинисто-дресвяно-щебнистые)

мощностью 10-20 м, верхняя толща (плаггиогнейсы, гнейсы биотитовые с прослоями кристаллических сланцев) и нижняя толща (гнейсы кордиерит-биотитовые с прослоями гнейсов). Интрузивные комплексы представлены сетью крутопадающих даек порфировых долеритов, трахидолеритов и метадолеритов с мощностью до 30 м. В непосредственной близости зафиксировано наличие раннепротерозойских интрузивных образований гранитогнейсов, а в северной части – позднеархейские интрузивные ортоамфиболиты (рис. 2.9в). Весь массив пронизан гидротермальными кварцевыми, карбонат-кварцевыми и карбонатными прожилками, которые вносились в модель как поверхности с неопределенной шириной. Разрывные нарушения на участке представлены зонами дробления, милонитизации, тектоническими брекчиями и разрывами без смещения.

Крупные разрывные нарушения включают в себя Верхнешумихинский, Верхнемеркурьевский, Меркурьевский и Безымянный разломы (рис. 2.9б). Второстепенные разрывные нарушения имеют протяженность до 2-3 км и являются внутриблоковыми структурами. Их концентрация наиболее высока в северо-восточной части модели, ограниченной поверхностями Верхнешумихинского и Верхнемеркурьевского разломов. Кроме этого, в модель были заложены зоны дробления и повышенной трещиноватости, выделенные по данным документации керна.

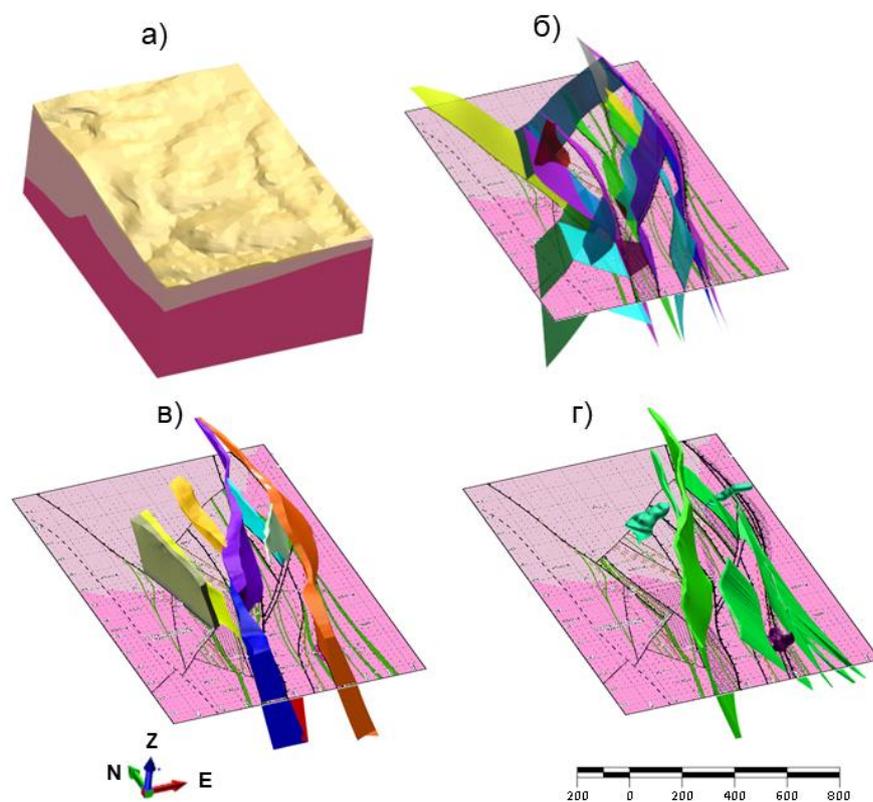


Рисунок 2.9 – Трехмерное представление основных геологических структур объемной модели участка «Енисейский»: а – литологическая модель; б – модель разрывных нарушений; в – зоны дробления, повышенной трещиноватости и брекчирования; г – интрузивные и дайковые комплексы



В каркасной модели разрывные нарушения построены в виде поверхностей (дислокаций) с нулевой шириной в силу недостатка информации о мощностях разломов. По эмпирическим зависимостям Г.Г. Качаряна были определены размеры зон динамического влияния разрывных нарушений. В границах каркасной модели участка была создана блочная модель для визуализации и анализа тектонической нарушенности. С помощью каркасов структурной модели и инструмента создания буферных зон от тектонических дислокаций блокам модели были присвоены коды литологических и структурно-геологических доменов (рис. 2.10). На рисунке: РН1 – Верхнешумихинский разлом, РН2 – Верхнемеркурьевский разлом, РН3 – Меркурьевский разлом, РН4 – Безымянный разлом, 1 – четвертичные отложения (суглинки песчанистые, глинисто-древяно-щебнистые); 2 – верхняя толща (плагинейсы, гнейсы биотитовые с прослоями кристаллических сланцев); 3 – нижняя толща (гнейсы кордиерит-биотитовые с прослоями гнейсов гранатсодержащих); 4 – зоны динамического влияния разрывных нарушений; 5 – разрывные нарушения.

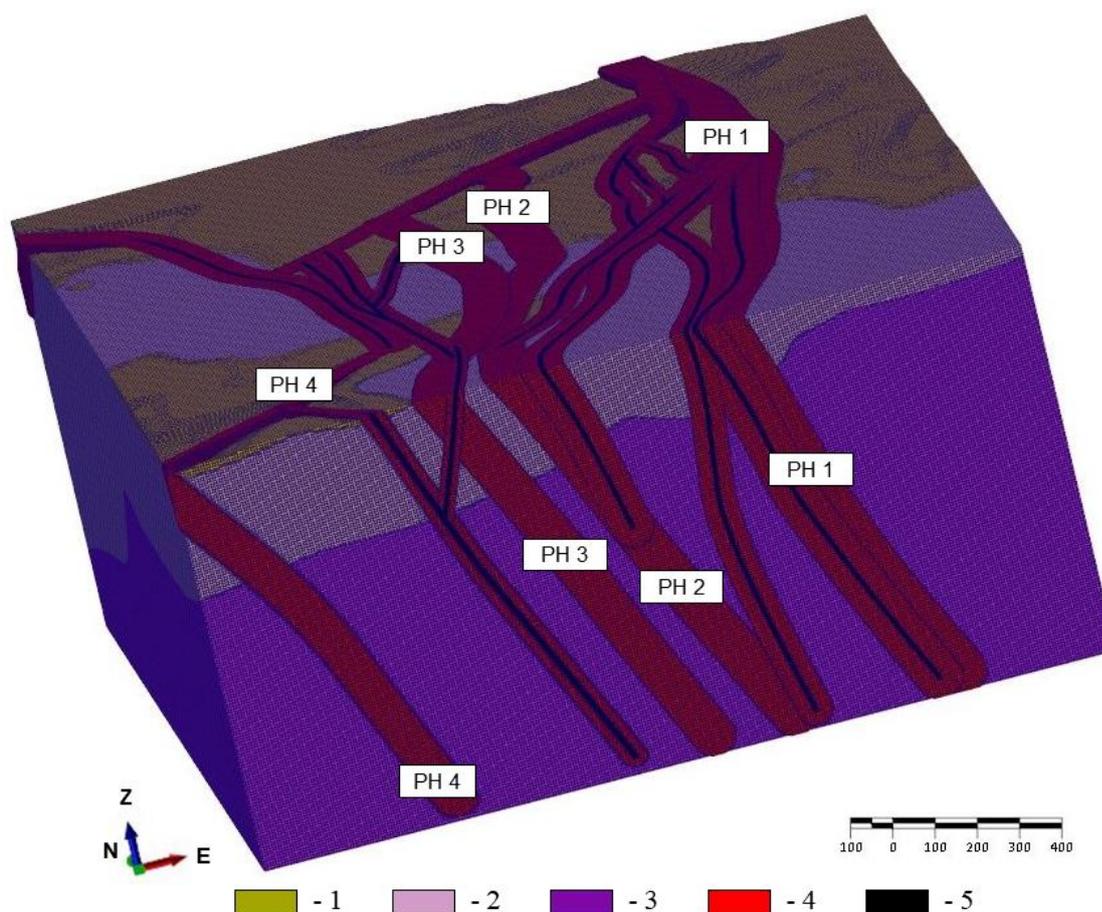


Рисунок 2.10 – Блочная структурно-геологическая модель разрывных нарушений с зонами динамического влияния



В блочную модель в пределах каждого из доменов записывались атрибуты физико-механических свойств пород. На данный момент всего на участке пробурено 17 скважин, из которых отбирались образцы для определения физико-механических свойств пород (табл. 2.2). При этом документация кернового материала для определения категорий устойчивости породных массивов не выполнялась.

Для оценки категорий устойчивости и нарушенности горных пород Нижнеканского массива в 2021-2022 гг. была проведена геотехническая документация скальных обнажений на земной поверхности и оценка рейтинга их устойчивости. По результатам анализа трещиноватости установлено, что плотность трещиноватости обнажений сильно варьируется, вплоть до 4-х систем трещин в зоне динамического влияния Муратовского разлома. На рис. 2.11 показаны стереограммы трещиноватости пород Нижнеканского массива.

Таблица 2.2 – Сводные физико-механические свойства горных пород на участке «Енисейский»

Наименование характеристик	Породы	
	гнейсы	долериты
Объемный вес, т/м ³		
Коэффициент Пуассона		
Модуль упругости, МПа	$(7,0 \div 7,7) \times 10^4$	$\times 10^4$
Модуль деформации, МПа	$5,9 \times 10^4$	$7,09 \times 10^4$
Предел прочности на одноосное сжатие, МПа		
Предел прочности на растяжение, МПа		
Предел прочности на сдвиг, МПа		

Важнейшим элементом моделирования НДС является задание направления внешних сил. Ранее по результатам геологических исследований установлено, что оно определяется субгоризонтальным сжатием, ориентированным в северо-восточном направлении. Однако из анализа осей ориентации и скоростей деформации результатов ГНСС-наблюдений (отчет 2022 г.) видно, что реальное поле тектонических напряжений распределено очень неоднородно. Северная и восточная граница участка западнее от Правобережного разлома преимущественно испытывает субмеридиональное растяжение. Западная граница участка, соответствующая оси Правобережного разлома, испытывает субмеридиональное сжатие и субширотное растяжение. Зона севернее разлома Безымянный испытывает растяжение, а блок, ограниченный Меркурьевским и Верхнешумихинским разломом, сжатие. Принято решение, что направления усилий будут задаваться, исходя из результатов ГНСС-наблюдений.

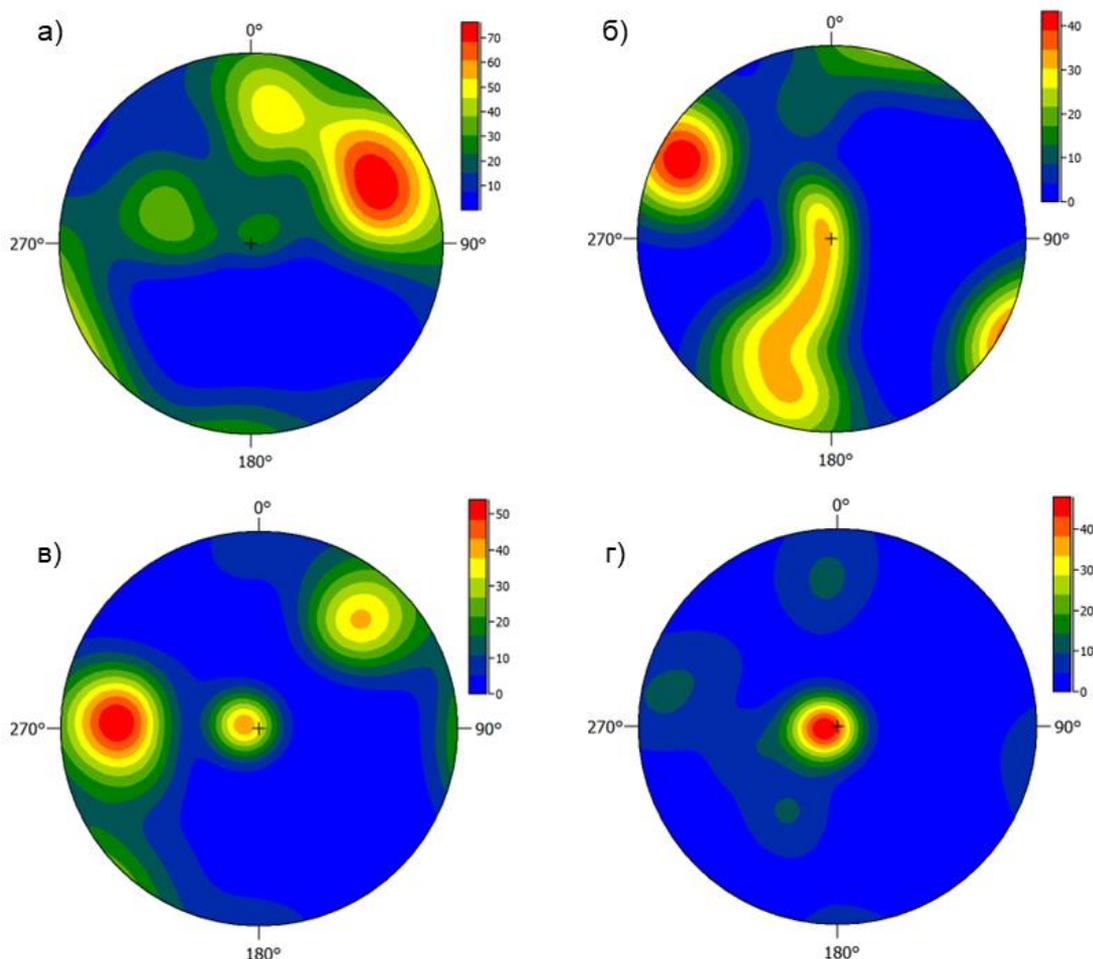


Рисунок 2.11 – Стереограммы трещиноватости пород Нижнеканского массива: а – в зоне динамического влияния Муратовского разлома, б – в зоне динамического влияния Безымянного разлома, в – в зоне динамического влияния второстепенного разрывного нарушения, г – вне зоны динамического влияния разрывных нарушений, дайковый комплекс долеритов

Для оценки категорий устойчивости пород Нижнеканского массива в 2021-2022 гг. были определены показатели качества массива RQD (методом треугольника на скальном обнажении), проведена массовая съемка трещин обнажений для получения стереограмм и определены параметры индекса качества массива Q по Н. Бартону. Измерения проведены на 15 геологических площадках скальных обнажений. Они являются полезными для определения относительной разницы в устойчивости массивов в различных тектонических условиях (табл. 2.3).

Данные были обобщены в следующие категории устойчивости:

- Тип 1. 500-метровая зона динамического влияния Муратовского разлома. Массивы представлены в основном гранитогнейсами с прожилками кварца и дайками долеритов малой мощности.



- Тип 2. Зоны динамического влияния разрывных нарушений местного масштаба. Массивы представлены в основном гранитогнейсами с прожилками кварца и дайками долеритов малой мощности.
- Тип 3. Интрузивные комплексы, представленные дайками долеритов мощностью до 10–20 метров.
- Тип 4. Вне зоны динамического влияния разрывных нарушений. Массивы представлены в основном массивными выходами гранитогнейсов.

Таблица 2.3 – Сводные категории устойчивости горных пород Нижнеканского массива

Тип массива	Основные породы	RQD, %	Q
Тип 1. Зона динамического влияния Муратовского разлома.	Гранитогнейсы	44 – 72	0,5 – 4,38
Тип 2. Зона динамического влияния местных тектонических нарушений	Гранитогнейсы	68 – 87	1,5 – 7,19
Тип 3. Выходы даечных долеритовых комплексов	Долериты	79 – 90	3,53 – 11,73
Тип 4. Вне зон динамического влияния тектонических нарушений	Гранитогнейсы	69 – 88	4,44 – 10,57

Из таблицы видно, что наихудшие условия в зоне динамического влияния Муратовского разлома, который является крупнейшей региональной тектонической структурой и считается современной границей Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты. В зоне динамического влияния главных и второстепенных разломов модели качество массива изменяется не так однозначно и коррелирует, скорее, с интенсивностью тектонических движений по ним. Массивы пород, представленные дайковыми комплексами долеритов, являются наиболее устойчивыми.

Таким образом, созданная трехмерная структурно-тектоническая модель участка «Енисейский» является основой для построения геомеханической модели участка и будет использована в следующем году при многовариантном моделировании НДС в окрестностях выработок ПИЛ с целью прогноза сохранности изоляционных свойств породного массива.



3 Развитие математических методов интеллектуального анализа данных геофизического мониторинга для изучения электромагнитных параметров Земли и околоземного пространства

Шифр темы: FMWG-2022-0006

Регистрационный №: 122080300204-0

Руководитель: зав. лаб., директор, чл.-кор. РАН А. А. Соловьев

3.1 Изучение экстремальных событий космической погоды по данным геомагнитного мониторинга

3.1.1 Изучение иррегулярных возмущений и волн диапазона Pc5/Pi3 по геомагнитным наблюдениям в АЗРФ

После фазы расширения суббури, на крупномасштабные магнитные вариации зачастую наложены иррегулярные квазипериодические пульсации типа Pi3 с временными масштабами 3-15 мин. На рис. 3.1 показаны графики для суббурь 09.02.2019 (левая панель) и 02.03.2019 (правая панель) по данным высокоширотных станций, входящих в созданную базу данных советских/российских арктических магнитных станций (с 1983 г. по настоящее время). Эти пульсации представляют собой не гармонические колебания, а серию нелинейных магнитных импульсов с крутыми фронтами. Благодаря крутым фронтам этих импульсов изменчивость поля высока, до $dB/dt \sim 20$ нТл/с. Эти пульсации вызывают квазипериодические всплески геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ). Во многих событиях с экстремально большими ГИТ величины токов достигали максимальной величины (до сотен А) не во время начала суббури, а во время последующей серии Pi3/Ps6 импульсов.

Зачастую на фоне общего усиления поля во время суббурь наблюдаются отдельные максимумы в магнитном (> 100 нТл) и теллурическом поле (> 1 В/км) – magnetic perturbation events (MPEs). Эти максимумы сильно локализованы, то есть пик на одной станции может быть, по крайней мере, на 100% больше регионального значения поля в среднем. На рис. 3.2 даны примеры таких импульсных возмущений (в ~ 16 UT и в ~ 05 UT) во время умеренной магнитной возмущенности. Физические процессы, которые определяют генерацию этих экстремальных значений, недостаточно изучены. Эти магнитные импульсы обычно связаны с локальной интенсификацией авроральной светимости.

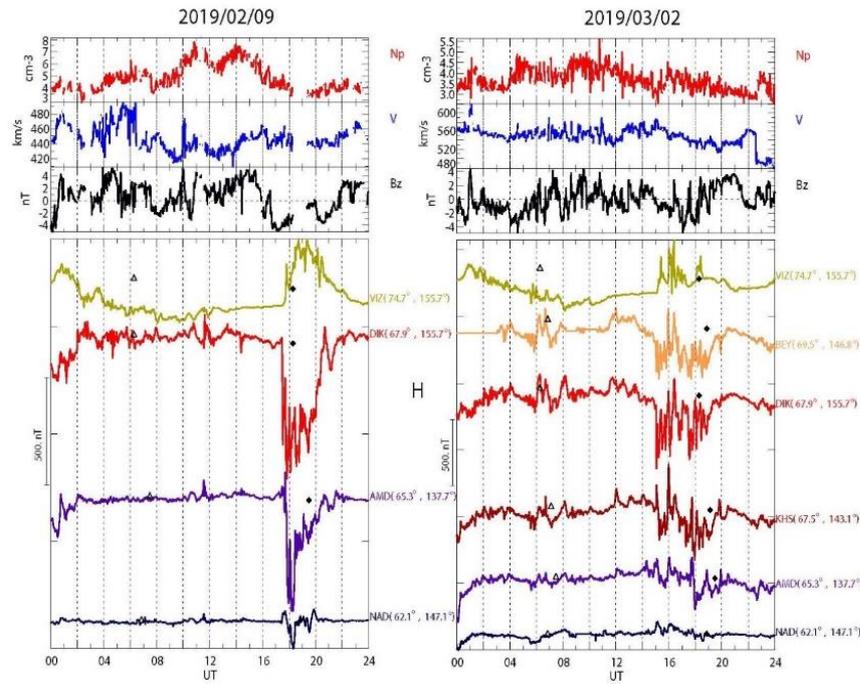


Рисунок 3.1 – Пример иррегулярных квазипериодических пульсаций типа P_{i3} на фоне фазы развития суббурь 09.02.2019 (слева) и 02.03.2019 (справа). Сверху – вариации плотности плазмы солнечного ветра N_p, скорости солнечного ветра V, вертикальной компоненты межпланетного магнитного поля B_z. Рядом с магнитограммами (H компонента) треугольниками показан локальный полдень на каждой станции, ромбами – местная полночь

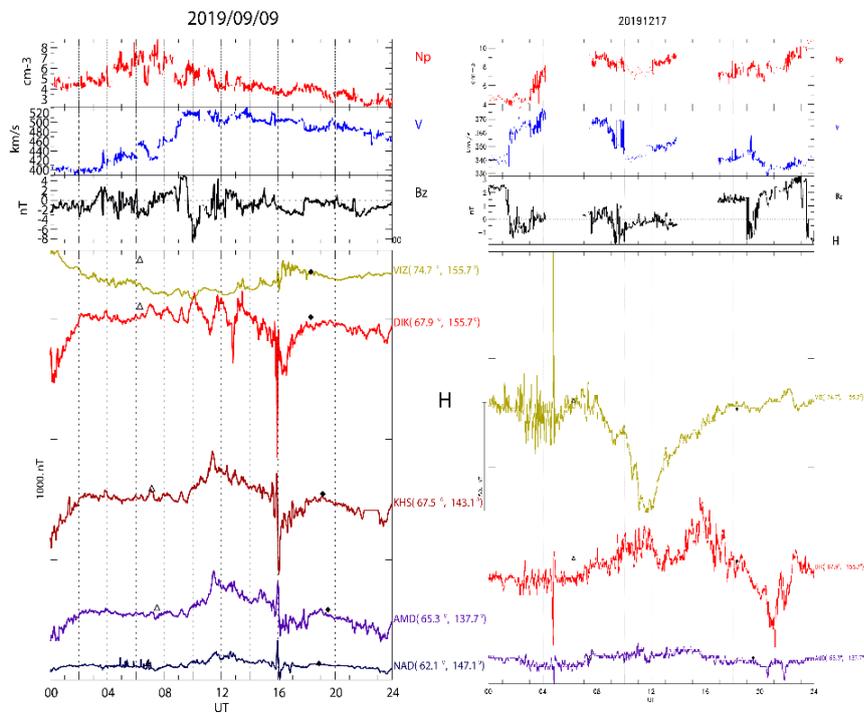


Рисунок 3.2 – Пример локализованных магнитных импульсов (МРЕ), зарегистрированных 09.09.2019 (слева) и 17.12.2019 (справа). Обозначения аналогичны рисунку 3.1



3.1.2 Вариации геомагнитного и теллурического полей как источник ГИТ: моделирование возмущений геоэлектрического поля

Разность потенциалов электрического поля в поверхностных слоях коры является причиной возникновения перегрузок в заземленных электроэнергетических и железнодорожных системах. Однако получить прямую информацию о геоэлектрических полях нелегко. Корректный расчет теллурических электрических полей и токов требует наличия не только достаточно плотной сети магнитометров, но и информации о геоэлектрическом разрезе земной коры. Сопоставление различных методик показало, что с хорошей точностью для расчета теллурических полей можно пользоваться импедансным соотношением в приближении плоской волны и плоской геометрии. Электрические сети наиболее чувствительны к помехам от естественных геоэлектрических полей с периодами от 10 до 1000 секунд. В средах с низкой проводимостью вероятность негативного воздействия сильных магнитных возмущений резко повышается, т. к. индуцированные теллурические поля E и разности потенциалов оказываются больше, и наведенные токи преимущественно текут через проводящие элементы промышленных сетей.

Для расчета геоэлектрических полей, которые могли бы возбуждаться заданным геомагнитным возмущением, мы воспользовались информацией об импедансах земной коры, вычисленных на основе трехмерной модели [Alekseev et al., 2015]. Карта пространственного распределения интегральной проводимости поверхностного 10-км слоя земной коры S на территории РФ показана на рис. 3.3. Наибольшими сопротивлениями, т.е. малыми значениями интегральной проводимости $S \sim 10^{-5}-10^{-4}$ См/м, обладают горные породы в районе Кольского полуострова, Карелии, Урала, Н. Земли и Чукотки.

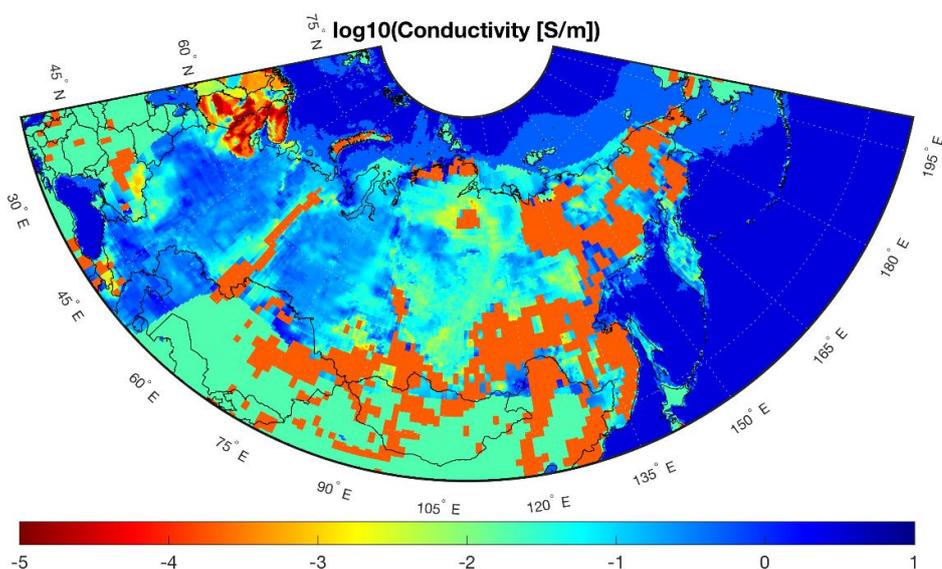


Рисунок 3.3 – Карта пространственного распределения усредненной проводимости верхнего 10-км слоя земной коры σ [См/м] (логарифмический масштаб) на территории РФ

3.1.3 Спутниковые наблюдения высокочастотных (1-10 Гц) волновых возмущений

По данным спутников Swarm исследованы пространственные распределения спектральных параметров естественных электромагнитных шумов диапазона 3-12 Гц в *F*-слое ионосферы. На широтах полярной шапки и каспа обнаружен максимум в вероятности появления и энергии колебаний. На рис. 3.4 представлено пространственное распределение энергии надпороговых колебаний по данным измерений B_Y компоненты на спутнике Swarm-A для когерентных интервалов, для которых значение спектральной когерентности $\gamma_{A-C}^2 > 0,5$.

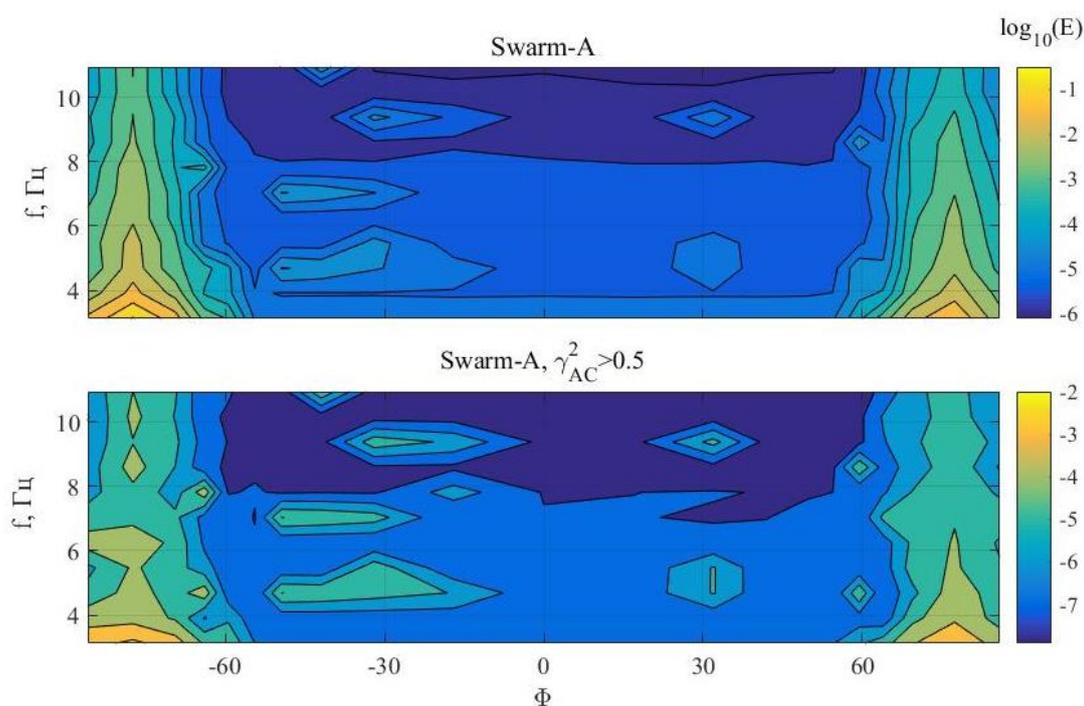


Рисунок 3.4 – Распределение по широте и частоте энергии колебаний широтной (B_Y) компоненты магнитного поля для всех надпороговых (верхняя панель) и когерентных на спутниках А и С (нижняя панель) колебаний

По данным двух спутников установлено, что наблюдаемые сигналы представляют собой волновые пакеты длительностью 5-10 периодов, наблюдаемые с малой задержкой на спутниках, разнесенных на расстояние 40-160 км (рис. 3.5). Предположительно, зарегистрированные колебания связаны с протонно-циклотронными волнами в районе границы между замкнутыми и открытыми силовыми линиями.

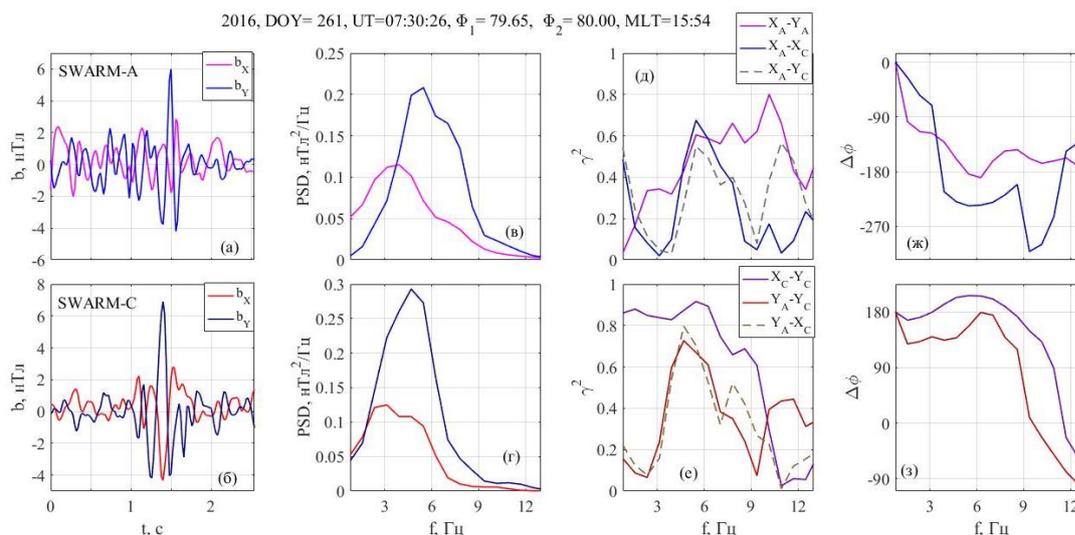


Рисунок 3.5 – Пример когерентных колебаний, зарегистрированных в послеполуденном секторе на спутниках А и С 17 сентября 2016 г. (DOY = 261). Слева направо: сигнал во временной области, спектры PSD, спектральная когерентность и разность фаз

3.1.4 Автоматизированное вычисление К-индекса в квазиреальном времени на базе использования МА для выделения Sq-вариации

Исследована возможность получения оперативного К-индекса геомагнитной активности с использованием аппарата дискретного математического анализа (ДМА). Выделение суточной вариации Sq по магнитограммам осуществляется путем определения наиболее спокойных интервалов суток по пороговым значениям меры аномальности (МА) [Soloviev et al., 2016]. Связность интервалов возмущенного и спокойного поля достигается с помощью использования алгоритма кластеризации аномальных интервалов. Выделенные возмущенные интервалы заменяются интерполированными минутными значениями для построения Sq-вариации. Применение МА позволило более точно локализовать области геомагнитной активности при расчете Sq (рис. 3.6). Окончательно оперативный К-индекс строится путем стандартного ранжирования возмущений геомагнитного поля относительно рассчитанной Sq-вариации.

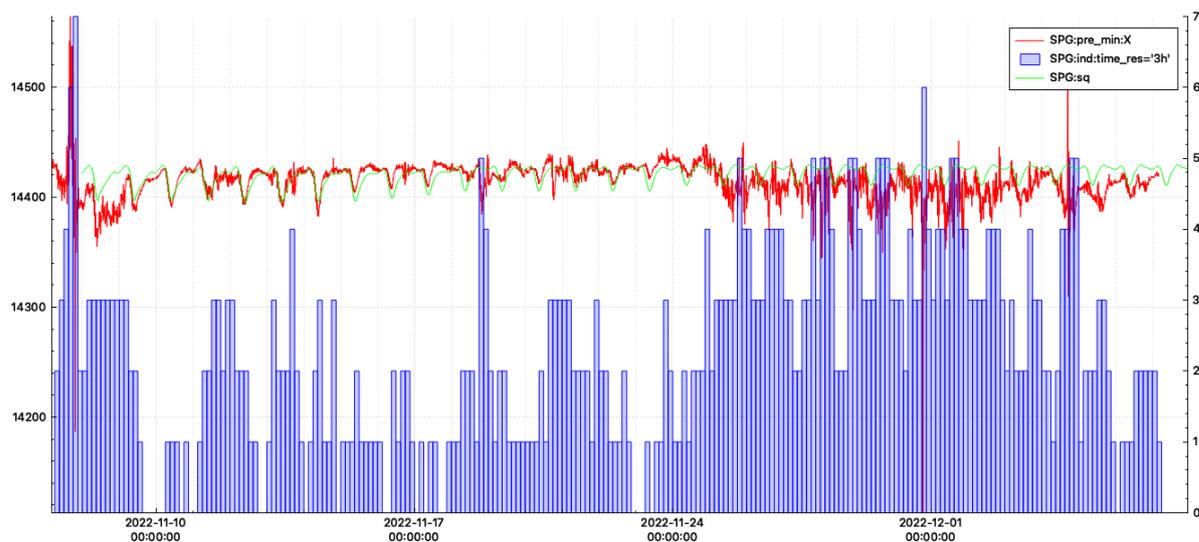


Рисунок 3.6 – Исходные данные (красный цвет), вычисленные по новой методике Sq-вариации (зеленый цвет) и K-индекс (синяя гистограмма) по данным обсерватории SPG за ноябрь-декабрь 2022 г.

3.1.5 Изучение влияния спорадических изменений МПЗ во время геомагнитных бурь на параметры траектории бурения скважины при геомагнитной навигации

Исследовалось влияние спорадических изменений магнитного поля во время четырех геомагнитных бурь (индексы Dst от - 98 до - 174 нТл и AE от 1428 до 2677 нТл) на ключевые параметры траектории бурения скважины при навигации по геомагнитному полю при условии, что параллельный мониторинг МПЗ на обсерватории не проводится. Отклонения фактических параметров скважины от проектных и их зависимость от геомагнитной широты были продемонстрированы на примере небольшого 500-метрового отрезка скважины, проложенного всего за 1 сутки (рис. 3.7).

Практически для всех рассмотренных бурь в период максимума возмущений с ростом геомагнитной широты наблюдается рост статистических характеристик (норма L1, норма L2, максимальное и среднее квадратичное отклонение) параметров ствола скважины и их отклонений. Для максимальных и среднее квадратичных отклонений отчетливо выражены пики на широте, соответствующей положению аврорального овала (рис. 3.8). Показано, что на высоких широтах фактические азимутальные углы скважины принимают недопустимые отклонения ($> 2^\circ$), а интенсивность искривления ствола на 10 м достигает величины почти 2,5 градусов на 10 м, что на практике недопустимо.

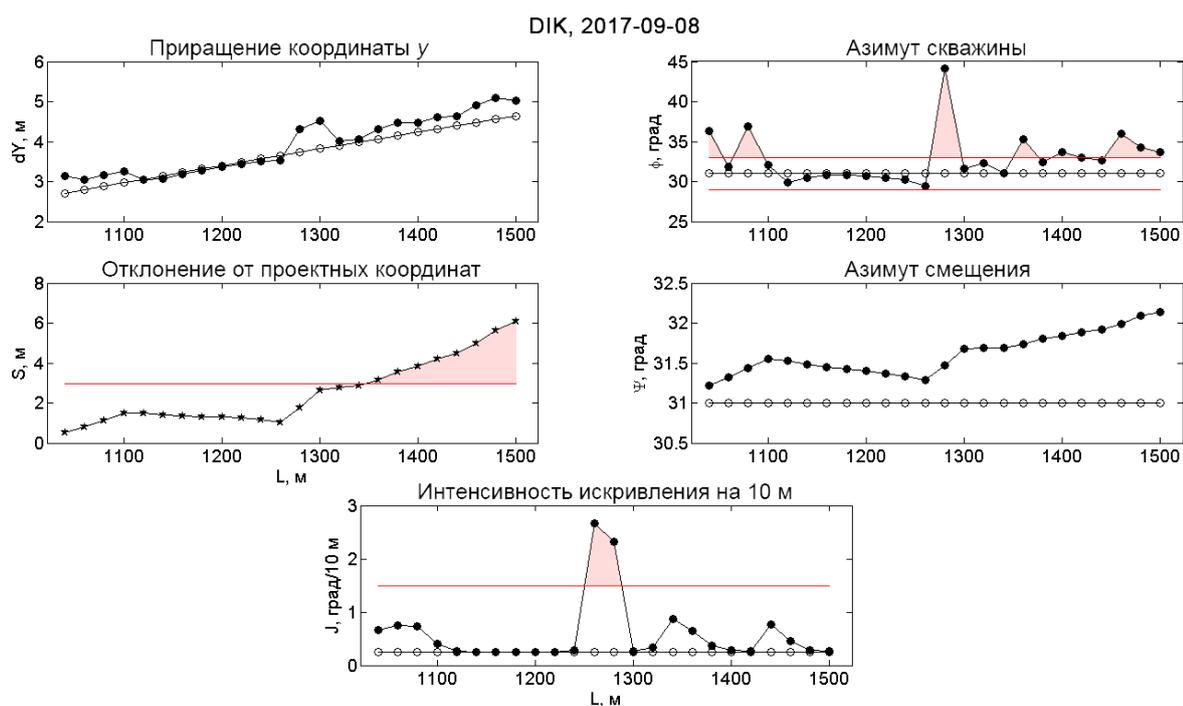


Рисунок 3.7 – Пример расчета траекторных параметров модельной скважины вдоль длины ствола L (горизонтальная ось) при бурении во время магнитной бури 06-11.09.2017 г. на виртуальном месторождении (расположение обсерватории «Диксон»). Проектные значения показаны белыми кружками, фактические – черными. Красными горизонтальными линиями показаны предельно допустимые отклонения

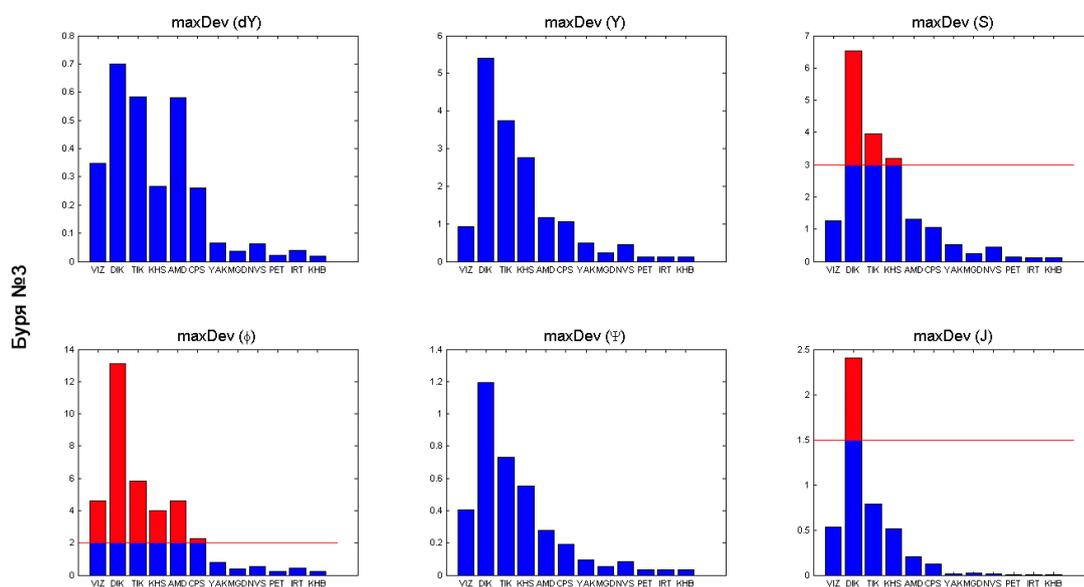


Рисунок 3.8 – Обобщенный статистический показатель «максимальные отклонения» за 8 сентября 2017 г. (геомагнитная буря 06-11.09.2017). По горизонтальной оси виртуальные скважины упорядочены по убыванию широты; горизонтальной чертой показаны максимально допустимые отклонения для соответствующих параметров скважины

Таким образом, учет быстрых вариаций магнитного поля в реальном времени при помощи высокоточной магнитометрической аппаратуры является неотъемлемым элементом высокотехнологичной добычи углеводородного сырья в Арктике. АПК МАГНУС обеспечивает многокритериальное распознавание магнитной активности в реальном времени. Благодаря этому функционалу, на любой момент времени в системе имеется информация не только о текущем уровне геомагнитной активности, но и о последнем магнитоспокойном дне (рис. 3.9). Эта информация дает возможность оперативной оценки отклонений поля от его спокойного уровня в заданной точке для дальнейшего принятия решений. Рассчитываемые параметры скважины по данным за последний магнитоспокойный день показывают, что отклонения от плановых параметров в этом случае минимальны и находятся в пределах допустимых значений, что дает возможность осуществлять корректную навигацию буровой колонны во время сильных геомагнитных возмущений.

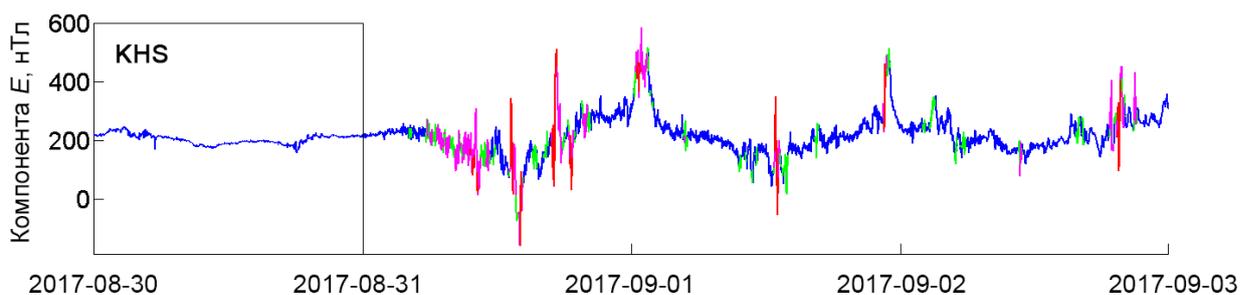


Рисунок 3.9 – Последний магнитоспокойный день (30.08.2017, выделен прямоугольником) перед началом бури 07-11.09.2017, определенный АПК МАГНУС по данным компоненты E магнитной станции KHS. Синяя маркировка соответствует фоновым значениям исходной магнитограммы, зеленый – слабым аномалиям, фиолетовый – аномалиям и красный – сильным аномалиям (<http://geomag.gcras.ru>)

3.2 Развитие дискретного математического анализа для решения задач геофизики

За отчетный период ДМА развивался по четырем направлениям. Первое направление связано с развитием DPS-кластеризации (рис. 3.10). Полученная итерационная схема использования алгоритма DPS (рис. 3.11) оказалась эффективнее обычной и нашла свое применение в анализе сейсмических каталогов. Второе направление связано с продолжением морфологического анализа записей на базе нечеткой логики. Новые результаты стали существенным продвижением и нашли свое применение в анализе магнитных бурь (рис. 3.12). Третье и четвертое направления (дискретные дифференциальные уравнения и дискретный векторный анализ на основе регрессионных



производных и проекционного метода) были заложены в этом году. Сделаны первые успешные шаги (рис. 3.13, 3.14).

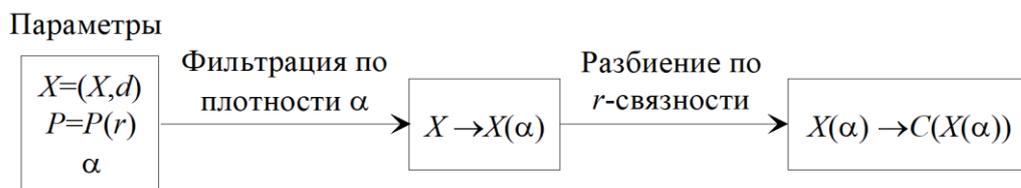


Рисунок 3.10 – Блок-схема DPS-алгоритма

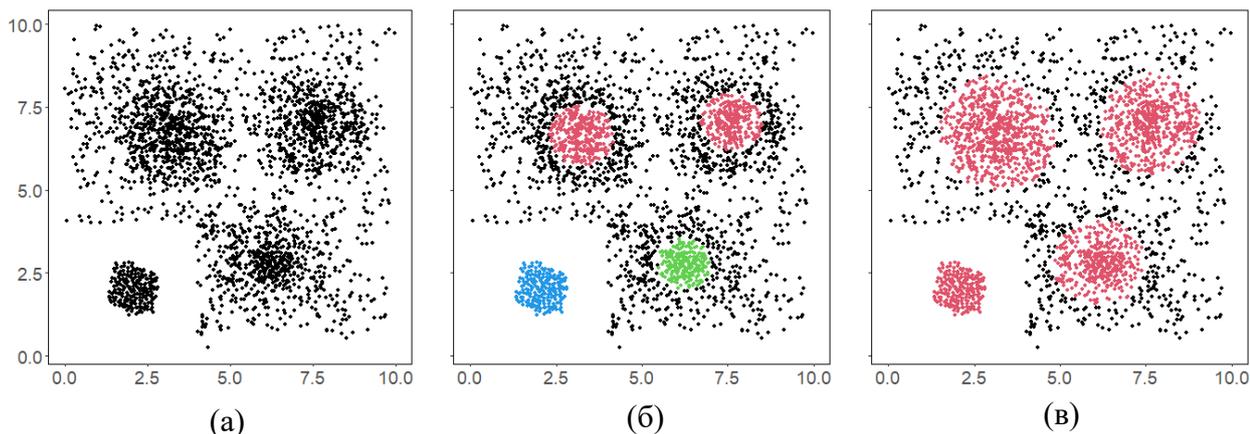


Рисунок 3.11 – Зависимость результата работы алгоритма DPS от уровня экстремальности:

а – исходный массив; б – красным цветом показан результат $X(\beta)$ работы алгоритма DPS; $\beta = 0,02$; в – красным цветом показан результат при $\beta = -0,25$; зеленым цветом показан результат работы алгоритма на дополнении $\overline{X(\beta)}$, $\beta = 0,02$, синий кластер – результат ещё одного перехода к дополнению

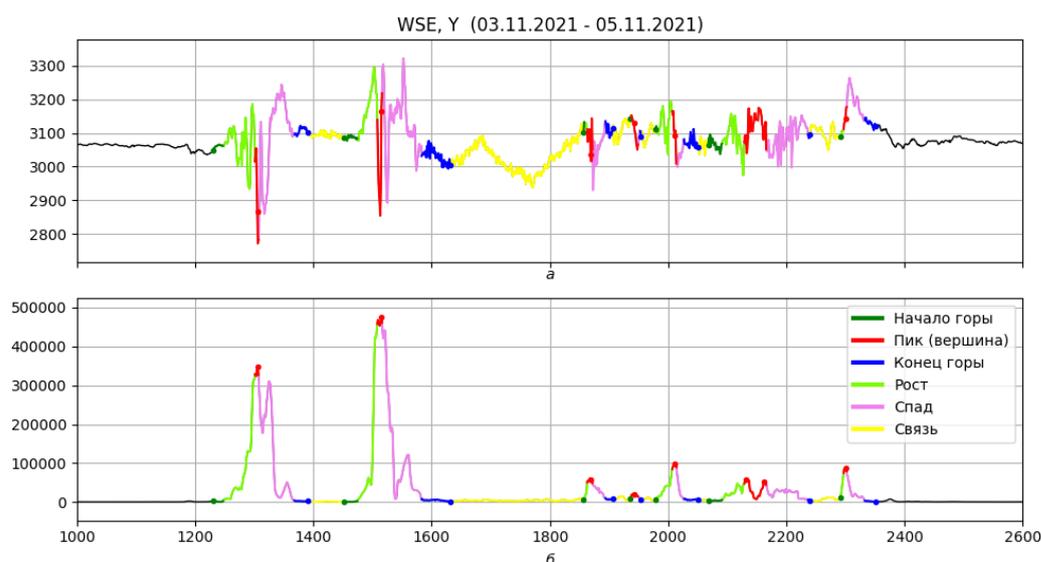


Рисунок 3.12 – Морфологический анализ временного ряда методом ДМА на примере разбора магнитной бури, произошедшей 3-4 ноября 2011 г.: запись компоненты Y на обсерватории WSE («Белое море», 1600 точек) (сверху), выпрямление «Энергия» (снизу). Цветами помечены различные морфологические характеристики ряда (см. легенду)

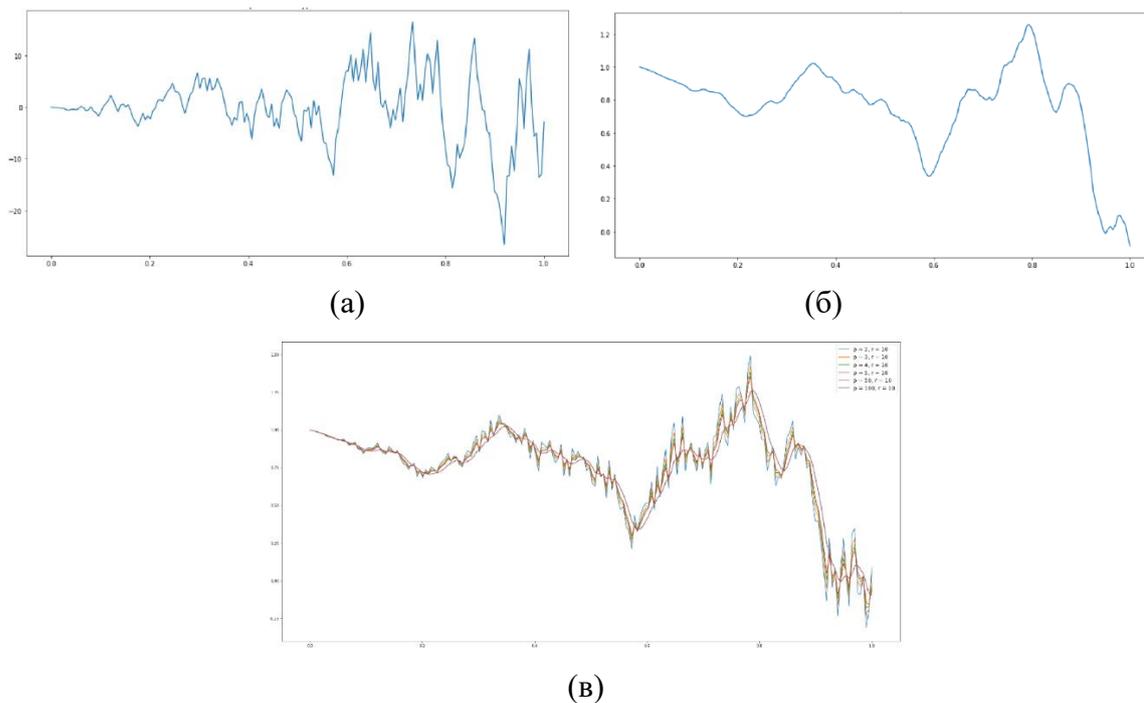


Рисунок 3.13 – Функция $f(t)$ (а), аналитическое решение уравнения $\frac{d}{dt}(x(t)) = -x(t) + f(t)$ (б), разномасштабная по p картина решений предложенным методом (в)

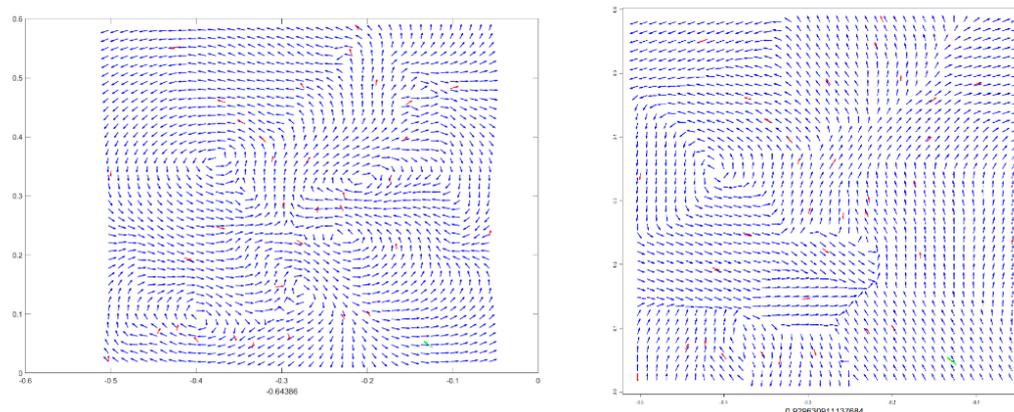


Рисунок 3.14 – Интерполяция векторного поля по данным, заданным на станциях (красные стрелки): кубическими сплайнами (слева) и на основе мер дальности ДМА (справа). В данном примере деактивирована станция 1 (зеленая стрелка)

Также объектом исследования являлся новый алгоритм пространственно-временной интерполяции рядов данных, распределённых на сфере (динамической интерполяции). Созданный метод позволяет получать интерполированные временные ряды, их первые и вторые производные в точке на сферической поверхности с учетом как пространственной конфигурации окружающих точек, так и связанных с ними свойств временных рядов (рис. 3.15). Получены оценки СКО в зависимости от расстояния от точки расчёта до точек с рядами данных и в зависимости от числа ближайших к точке расчёта точек с рядами данных. Одной из перспектив его применения является анализ эволюции главного



магнитного поля, его вековой вариации и векового ускорения по рядам наземных наблюдений. Метод может иметь приложения в других областях исследований в аналогичных задачах, подразумевающих работу с динамическими пространственно-временными данными.

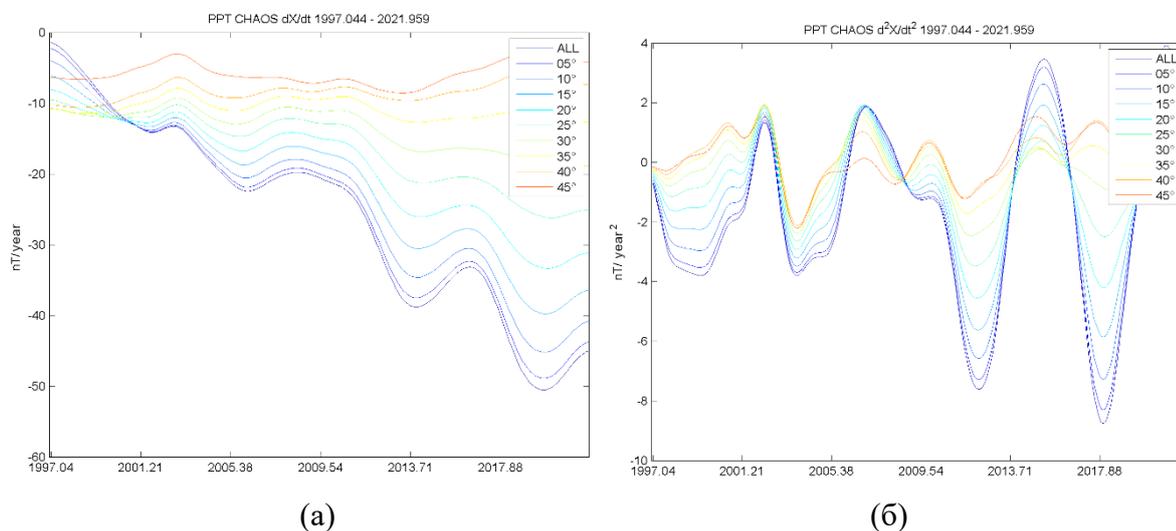


Рисунок 3.15 – Пример интерполированных временных рядов первой (а) и второй (б) производной в точке расчёта по сравнению с эталонным временным рядом для разных расстояний от 0° до 45°

3.3 Изучение быстрых вариаций главного МПЗ

3.3.1 Построение аналитической модели векового хода главного МПЗ по скалярным спутниковым наблюдениям 1964 и 1970 гг.

Основная ценность аналитических моделей разложения главного МПЗ по сферическим гармоникам заключается в возможности не столько рассчитать мгновенные характеристики поля, сколько оценить их изменчивость во времени (вековой ход, ВХ). По историческим скалярным наблюдениям МПЗ, которые осуществлялись спутниками Космос-49 и Космос-321 в 1964 и 1970 гг., были построены усовершенствованные модели ВХ за соответствующие эпохи (N-1 и N-2). Они учитывают «эффект Бакуса», который связан с неоднозначным восстановлением полного вектора МПЗ в результате инверсии только скалярных наблюдений. Показано, что прогнозные значения ВХ 1964-1970 гг. согласно этим моделям гораздо ближе к значениям эталонной модели IGRF, чем ВХ по построенным ранее моделям М-1 [Долгинов и др., 1967] и М-2 [Долгинов и др., 1976], которые основаны на тех же спутниковых данных (рис. 3.16, 3.17). Точность результатов моделирования по N-1 и N-2 удовлетворительна,

несмотря на большие различия в количестве и пространственном распределении измерений 1964 и 1970 гг., которые использовались для их построения.

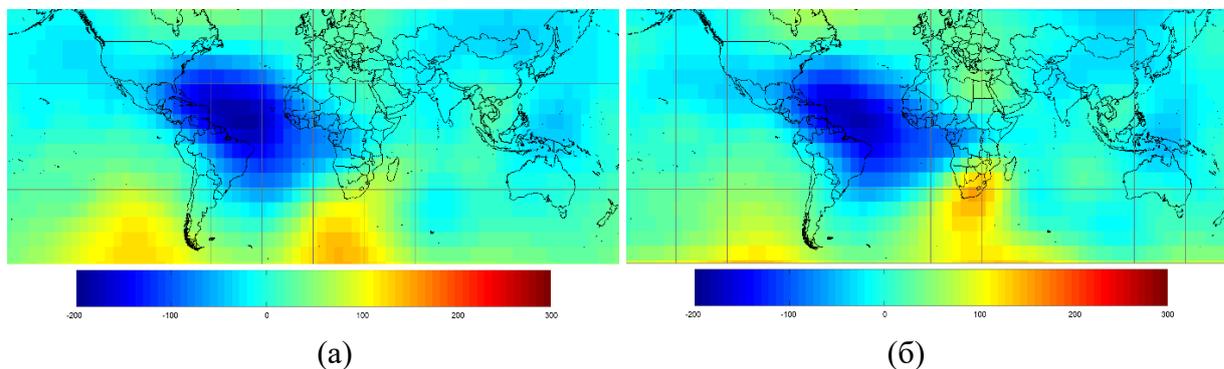


Рисунок 3.16 – Карты векового хода 1964-1970 гг. (Z-компонента, нТл/год) согласно IGRF (а) и новым моделям N-1 (1964) и N-2 (1970) (б)

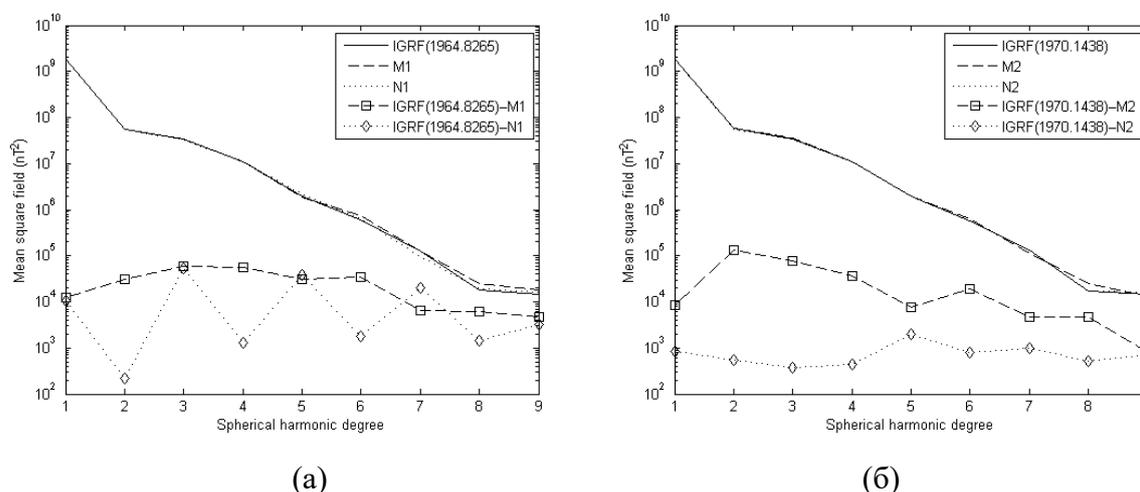


Рисунок 3.17 – Спектры мощности моделей IGRF, M-1,2 и N-1,2 и их разностей с IGRF за 1964 г. (а) и 1970 г. (б) на сфере со средним земным радиусом 6371,2 км

3.3.2 Детектирование геомагнитных джерков 2017 и 2020 гг. по оперативным обсерваторским наблюдениям

В отношении данных магнитных обсерваторий «Санкт-Петербург» (IAGA-код SPG, Ленинградская обл.) и «Климовская» (IAGA-код KLI, Архангельская обл.) используется полный функционал АПК МАГНУС для получения квазиокончатальных данных высокого качества. Последние данные такого уровня всегда доступны за месяц, предшествующий текущему. Благодаря этому, за период 2015-2022 гг. был оперативно детектирован джерк 2020 г., а также выделен джерк 2017 г. (рис. 3.18). Новизна полученного результата также состоит в том, что джерк 2020 г. пока не детектирован ни одной из существующих моделей главного МПЗ в силу их недостаточной периодичности обновления. Ранее о нем сообщалось лишь в работе [Pavón-Carrasco et al., 2021], в которой авторы анализировали прямые геомагнитные наблюдения спутников созвездия Swarm за 2015-2021 гг. Оба джерка

продолжают трехлетнюю квазипериодичность, наблюдаемую с начала изучения быстрых вариаций главного МПЗ. Полученный результат подтверждает гипотезу о волновой природе стоящих за ними процессов в жидком ядре.

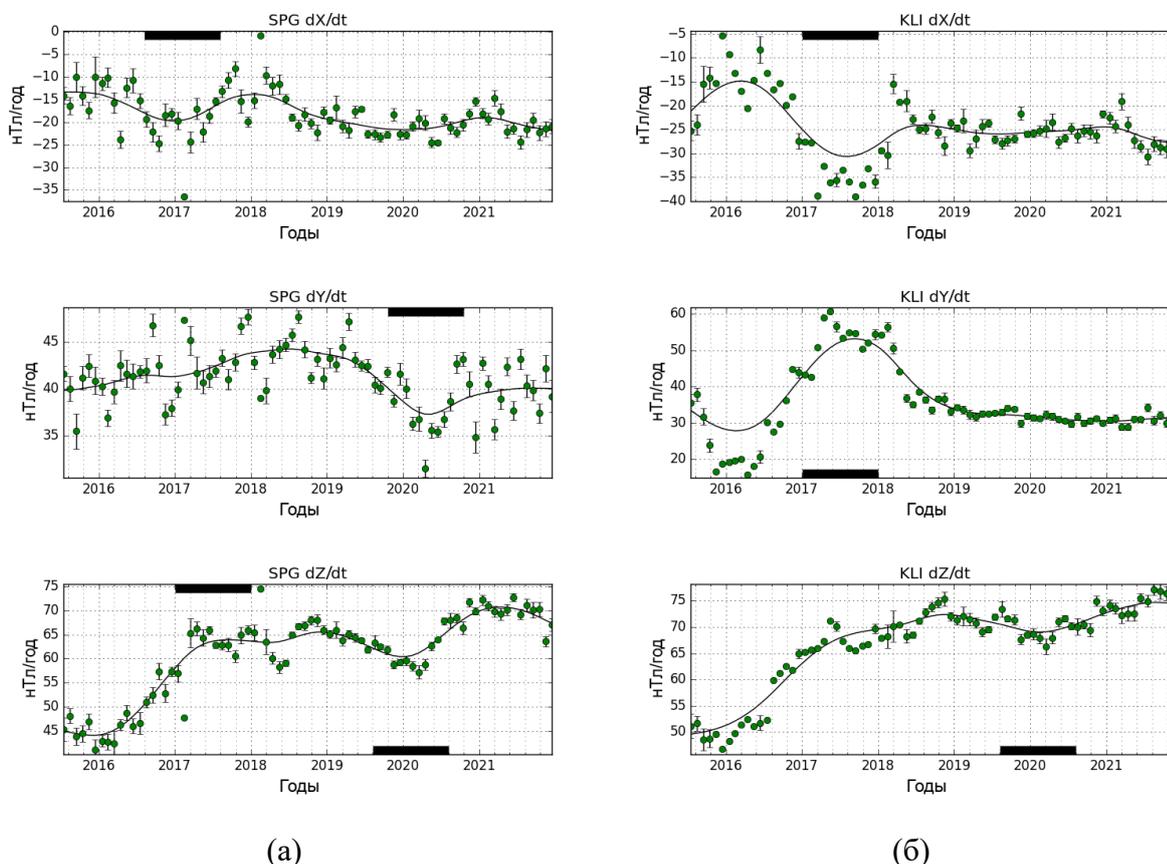


Рисунок 3.18 – Вековой ход компонент X (сверху), Y (посередине) и Z (снизу) по данным обсерваторий SPG (а) и KLI (б). Зеленым обозначено значение B_X , рассчитанного по среднемесячным данным, с указанием доверительного интервала; черным обозначена сглаженная кривая. Временные интервалы детектированных джексов 2017-2018 и 2020 гг. отмечены жирными линиями

3.3.3 Негауссовы невязки на примере расхождений между реальными данными Swarm и моделью главного МПЗ

Представлен подход, позволяющий давать численную оценку негауссовости распределения, получаемого в результате смешивания нескольких гауссовых распределений в данных. В настоящем исследовании рассматривается приложение известного численного метода к анализу невязок в геофизических данных, которое является новым. Предполагается, что наблюдаемая невязка θ представляет собой смесь отдельных гауссовских случайных величин с нулевыми математическими ожиданиями и случайными дисперсиями β^2 . В настоящей работе мы утверждаем, что распределение случайной

величины β может быть хорошо аппроксимировано логарифмически нормальным распределением с функцией плотности вероятности:

$$f_{\beta}(t) = \frac{1}{ts\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{\ln^2 t}{2s^2}\right] \quad (3.1)$$

Нами выведена непрерывная аналитическая формула плотности смешанного распределения (для умеренных объемов данных, $N \sim 10^3$):

$$f_{\theta}(x) = \int_0^{\infty} \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{x^2}{t^2\sigma^2}\right) \frac{1}{ts\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\ln^2 t}{2s^2}\right) dt \quad (3.2)$$

Соответствующие вычисления проводились на данных магнитных наблюдений, полученных спутниками Swarm, и их невязках по отношению к модели главного МПЗ (рис. 3.19). Приведенная формула дает надежду, что в случае обработки наземных магнитных наблюдений, полученных за относительно короткий интервал времени, предложенный метод расчета нестационарности позволит не только повысить точность, но и изолировать тонкие эффекты нестационарного поведения поля.

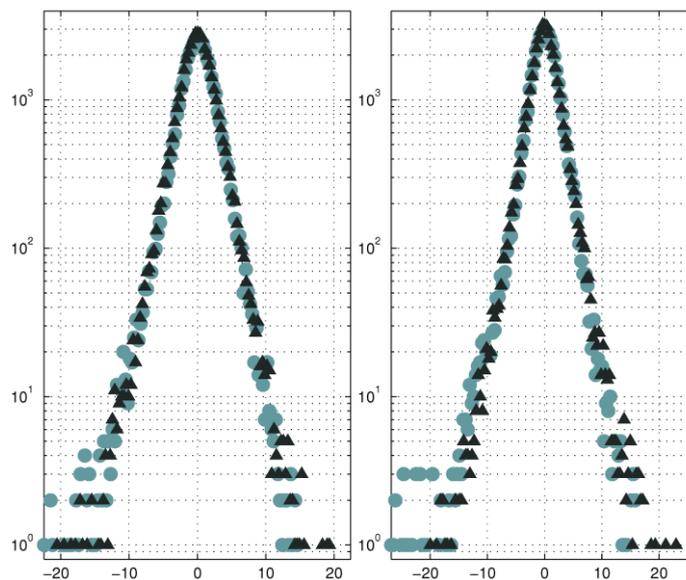


Рисунок 3.19 – Гистограмма невязок (круги) скалярных данных Swarm A и Swarm B, использованных для расчета модели VFM, вместе с гистограммой (треугольники) идентичного количества смоделированных смесей гауссовских распределений согласно параметрам s и σ , полученным по реальным данным

3.4 Развитие функционала АПК МАГНУС

Актуальной задачей в наблюдениях магнитного поля Земли является оперативное оповещение о геомагнитных бурях, которые представляют опасность для различных технических систем, особенно в полярных областях. В рамках развития АПК МАГНУС, используемой в ГЦ РАН для сбора, хранения и анализа обсерваторских и спутниковых



геомагнитных данных, разработана обновленная система оповещений о геомагнитных бурях на основе всей совокупности индикаторов геомагнитной активности, рассчитываемых системой. Она обеспечивает отправку электронных писем на заданные адреса электронной почты. Устранены проблемы при расчете индикаторов, которые мешали корректному определению геомагнитных бурь. Выполнен выбор индикаторов и значений их шкал, используемых для определения геомагнитных бурь. Выполнено ретроспективное сравнение со старой системой и планетарным Кр-индексом и сравнение параллельной работы старой и новой систем оповещения. Она должна заменить существующую в рамках АПК систему оповещений, которая использует фиксированные значения разброса значений компонент МПЗ, и обеспечить более точное распознавание геомагнитных бурь и сопутствующей им геомагнитной активности. Также реализован вывод измеряемых значений температуры в обсерваторских павильонах в текстовом виде в формате JSON.

Список использованных источников

- Alekseev D., Kuvshinov A., Palshin N. Compilation of 3D global conductivity model of the Earth for space weather applications. *Earth, Planets and Space*. 2015. V. 67. Art. No. 108. <https://doi.org/10.1186/s40623-015-0272-5>
- Pavón-Carrasco F.J., Marsal S., Campuzano S.A. et al. Signs of a new geomagnetic jerk between 2019 and 2020 from Swarm and observatory data. *Earth Planets Space*. 2021. Vol. 73. Art. No. 175. <https://doi.org/10.1186/s40623-021-01504-2>
- Soloviev A., Agayan S., Bogoutdinov S. Estimation of geomagnetic activity using measure of anomalousness. *Annals of Geophysics*. 2016. Vol. 59. No. 6. G0653. DOI: 10.4401/ag-7116
- Долгинов Ш.Ш., Наливайко В.И., Тюрмин А.В., Чинчевой М.М., Бродская Р.Е., Злотин Г.Н., Кикнадзе И.Н., Тюрмина Л.О. Каталог измеренных и вычисленных значений модуля напряженности геомагнитного поля вдоль орбит спутника Космос-49 // АН СССР. ИЗМИРАН. Москва. СССР. 1967.
- Долгинов Ш.Ш., Козлов А.Н., Колесова В.И., Косачева В.П. и др. Каталог измеренных и вычисленных значений модуля напряженности геомагнитного поля вдоль орбит спутника Космос-321 // М.: Наука. 1976.



4 Структурирование, визуализация, анализ и распространение геофизических данных

Шифр темы: FMWG-2022-0007
Регистрационный №: 122080300191-3
Руководитель: г.н.с., д.ф.-м.н. Б. А. Дзебоев

4.1 Увеличение объемов и видов данных в Мировых центрах данных. Формирование массивов и баз данных. Расширение центрального репозитория «Базы данных по наукам о Земле»

В 2022 году в Мировых центрах данных (МЦД) по солнечно-земной физике и физике твердой Земли задача увеличения объемов качественных информационных ресурсов решалась путем сбора новых данных, ретроспективным пополнением архивов и переводом исторических данных в электронный вид. Новые данные, поступившие от стационарных обсерваторий, центров обработки данных, научных институтов и отдельных ученых, после процедуры анализа, проверки качества, резервного копирования и регистрации публиковались на сайтах Центров.

В МЦД по солнечно-земной физике (МЦД по СЗФ) раздел сайта «**Геомагнитные вариации**» (http://www.wdcb.ru/stp/geomag/geomagnetic_variations.ru.html) дополнен массивами среднечасовых и минутных значений элементов магнитного поля Земли за 2019-2021 гг. шести обсерваторий. В разделе данных о *K*-индексе дополнены массивы семи обсерваторий. Опубликованы в свободном доступе цифровые изображения магнитограмм, хранящихся в фондах МЦД по СЗФ, обсерваторий «Владивосток», «Магадан» и «Тикси» (10 176 магнитограмм, объем 106 794 Мб) (http://www.wdcb.ru/stp/magnetogr_list.ru.html). Каждому набору магнитограмм за месяц подготовлены файлы с описаниями приборов, таблицами базисных значений и таблицами ежечасных значений компонент магнитного поля Земли.

В разделе «**Ионосферные явления**» после проверки и анализа опубликованы на сайте данные ионосферной станции «Москва» за 2022 г. и отсутствовавшие и полученные по запросу за 2007-2009 гг., содержащие значения 18 ионосферных параметров ([http://www.wdcb.ru/stp/data/ionosphere_4/MO155_Moscow_\(IZMIRAN\)/](http://www.wdcb.ru/stp/data/ionosphere_4/MO155_Moscow_(IZMIRAN)/)).

В разделе «Солнечная активность и межпланетная среда» на сайте опубликована в окончательной версии «Сводная таблица солнечных протонных событий 24 цикла солнечной активности (2009-2019 гг.)» [Logachev et al., 2022] http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/SPE_24_Summary_List.ru.pdf.

Продолжался сбор данных и формирование накопительного каталога значимых



солнечных вспышечных событий рентгеновского класса M1 – X > 17,5 текущего 25 солнечного цикла. В отличие от каталогов 23 и 24 солнечных циклов, каталог для 25 цикла стал интерактивным – в каталог включены гиперссылки, позволяющие переходить на страницу сайта Mullard Space Science Laboratory (http://helio.mssl.ucl.ac.uk/helio-vo/solar_activity/arstats/), где размещена подробная информация о солнечных активных областях (рис. 4.1). Каталог размещен на странице «Солнечные вспышечные события» (http://www.wdcb.ru/stp/data/Solar Flare Events/Fl_XXV.ru.pdf). Дополнены данными за 2021-2022 гг. разделы «Солнечные пятна» и «Поток радиоизлучения Солнца с длиной волны 10,7 см (2800 МГц)».

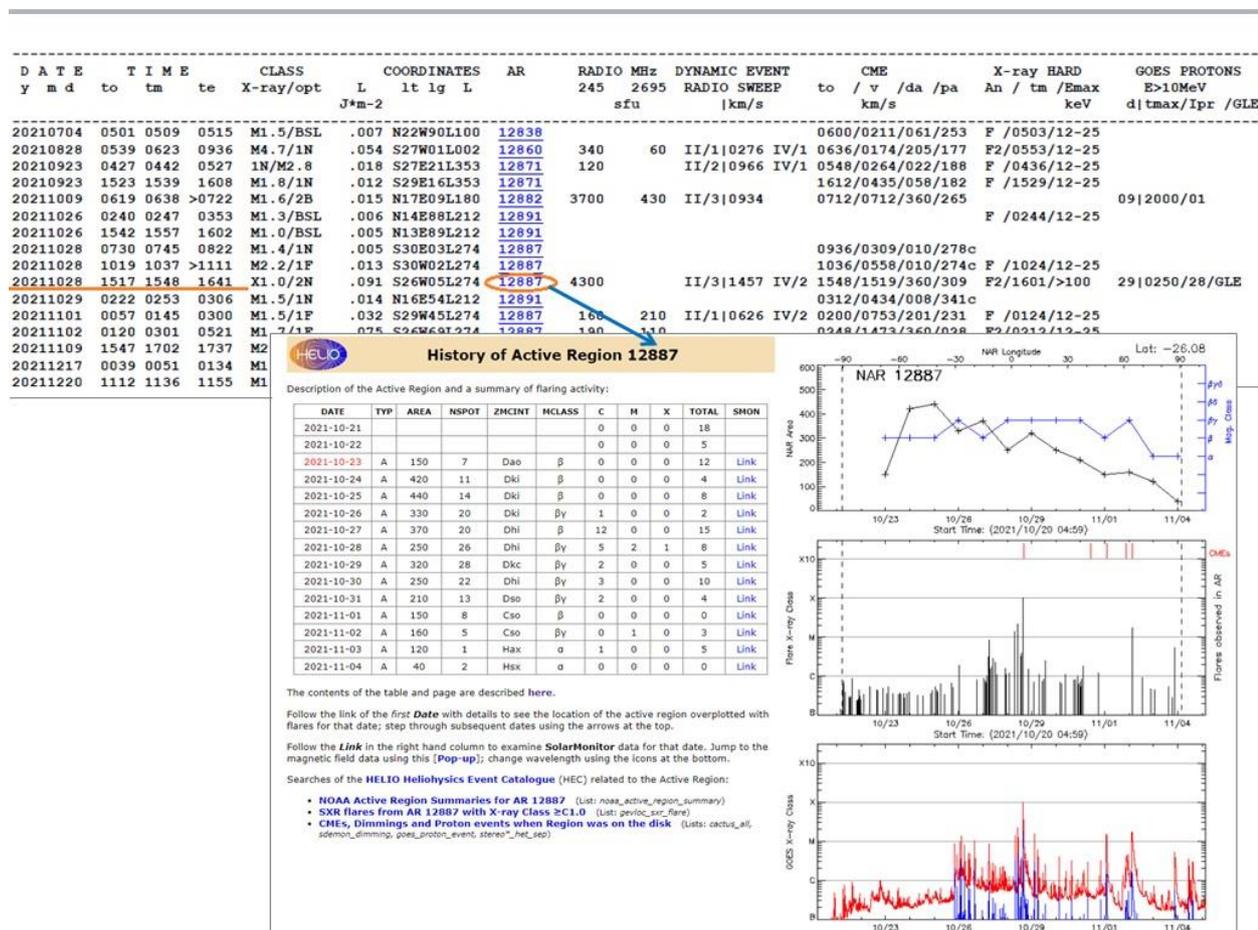


Рисунок 4.1 – Фрагмент каталога солнечных вспышечных событий 25 солнечного цикла с активными ссылками для перехода на сайт Mullard Space Science Laboratory с подробной информацией об эволюции самой активной области с характеристиками группы пятен (таблица слева), её развитии и вспышечной активности (графики справа)

В 2022 году в МЦД по СЗФ был передан для хранения и публикации в сети Интернет новый большой набор данных – «Каталог солнечных протонных событий 24 цикла солнечной активности (2009-2019 гг.)» [Логачев и др., 2022], созданный коллективом ведущих специалистов в области физики солнца. Каталог включен в базу данных по



русскоязычном и англоязычном вариантах размещен на сайте http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/Catalog_SPE_24_cycle_SA.ru.pdf.

В рамках проекта «Сохранение исторических данных» переведены в электронный вид (формат PDF) данные по нескольким разделам наблюдений: вертикальное зондирование ионосферы (по 4 станциям), атмосферные радиопомехи и радионаблюдения метеорной активности (табл. 4.1) и сборники «Космические данные» с результатами наблюдений геофизических явлений, связанных с электрическим и магнитным состоянием верхних слоев атмосферы. Всего в 2022 году отсканировано 43 000 листов формата А3 бумажных документов.

Таблица 4.1 – Перечень станций, данные которых переведены с бумажного носителя в электронный вид за указанные годы по двум видам наблюдений

Атмосферные радиопомехи		Радионаблюдения метеорной активности	
Название станции	Годы	Название станции	Годы
Алма-Ата	1962–1965	Ашхабад	1957–1959
Ашхабад	1959–1962	Казань	1957–1959
Москва	1959–1962	Киев	1958–1959
Мурманск	1960–1963	Одесса	1957–1959
Свердловск	1959–1965	Симферополь	1957–1959
Симферополь	1958–1965	Томск	1958–1959
Тифлис	1960–1964	Хабаровск	1958–1959
Хабаровск	1958–1965		

Переведены в электронный вид таблицы, содержащие определения геомагнитного *K*-индекса и сведения о магнитных бурях, полученные в обсерватории «Одесса» за период 2000-2009 гг. (http://www.wdcb.ru/stp/geomag/geomagn_K_C_ind.ru.html).

В МЦД по физике твердой Земли (МЦД по ФТЗ) в разделе «Сейсмология» регулярно публиковались на сайте в свободном доступе данные «Сейсмологического бюллетеня» http://www.wdcb.ru/sep/seismology/bul_OBN.ru.html и «Сейсмологического каталога» http://www.wdcb.ru/sep/seismology/cat_OBN.ru.html, поступающие ежедекадно из ФИЦ ЕГС РАН (http://www.ceme.gsras.ru/new/ssd_news.htm). Опубликованы данные за период с XII.2020 года по XII.2021 года. Данными за этот период дополнены каталог землетрясений и каталог механизмов очагов, формируемые в МЦД по ФТЗ на основе информации из «Сейсмологического бюллетеня». Дополнены данными за период с 2015 по 2018 гг. из ежегодников «Землетрясения Северной Евразии» и «Землетрясения России» каталоги землетрясений сейсмических регионов «Якутия», «Северо-Восток России», «Камчатка и Командорские острова», «Арктика» и «Восточно-Европейская платформа» в



Объединенный каталог составлен на основе каталогов ФИЦ ЕГС РАН для регионов Якутия, Северо-Восток России и Камчатка и данных Международного сейсмологического центра, содержит информацию о 23 254 сейсмических событиях за период 1962-2020 гг.

Создан новый тематический раздел «Арктика. Геофизические поля», содержащий геолого-геофизические данные для восточной части Арктической зоны России, которые могут быть использованы при изучении строения литосферы этой территории (http://www.wdcb.ru/arctic_antarctic/arctic_geoph.fields.ru.html). В разделе представлены основные редукции поля силы тяжести и структура осадочных бассейнов, глубина до раздела Мохо, новая модель геотермального теплового потока на основе инверсии сейсмических и магнитных данных и модели сейсмической томографии Арктического региона. В каждом разделе даны описания данных и направлений геофизических исследований, где они могут быть использованы, указан способ построения и характеристики новой модели, дается сравнение с другими моделями, сопровождаемое графическими изображениями.

Завершена работа с историческими данными из «Атласа землетрясений в СССР, 1911-1957 гг.» [Атлас..., 1962]. Атлас и Приложение к нему в виде набора из 16 карт опубликованы в полном объеме в формате PDF на сайте http://www.wdcb.ru/sep/seismology/atlas_USSR.ru.html/. Данные о землетрясениях переведены в электронную форму в формате Excel (XLS). Для восьми сейсмоактивных зон, представленных в Атласе, созданы базы данных. Для каждой зоны обеспечен доступ к каталогу землетрясений в трех форматах – PDF, XLS и TXT (ASCII), к тексту описания из Атласа, картам и библиографии. По каталогам построены карты-схемы пространственного распределения эпицентров в сейсмоактивных зонах и размещены на интернет-страницах. Всего создано 67 файлов данных, общий объем 106 Мб. На рис. 4.4 на примере Кавказа показан полный набор данных и описаний, представленный в базе данных для каждой сейсмоактивной зоны. Эти базы данных являются ретроспективным дополнением каталогов землетрясений, сформированных в МЦД по ФТЗ на основе ежегодников «Землетрясения в СССР» и «Землетрясения Северной Евразии», начинающихся с 1962 г. и представленных на сайте МЦД по ФТЗ. Для сформированных по 8 сейсмоактивным зонам баз данных получены Свидетельства о государственной регистрации № 2022623011 от 22.11.2022 г., №№ 2022623064 и 2022623065 от 24.11.2022 г.; №№ 2022623074, 2022623078 и 2022623079 от 24.11.2022 г. и № 2022623176 от 01.12.2022 г.

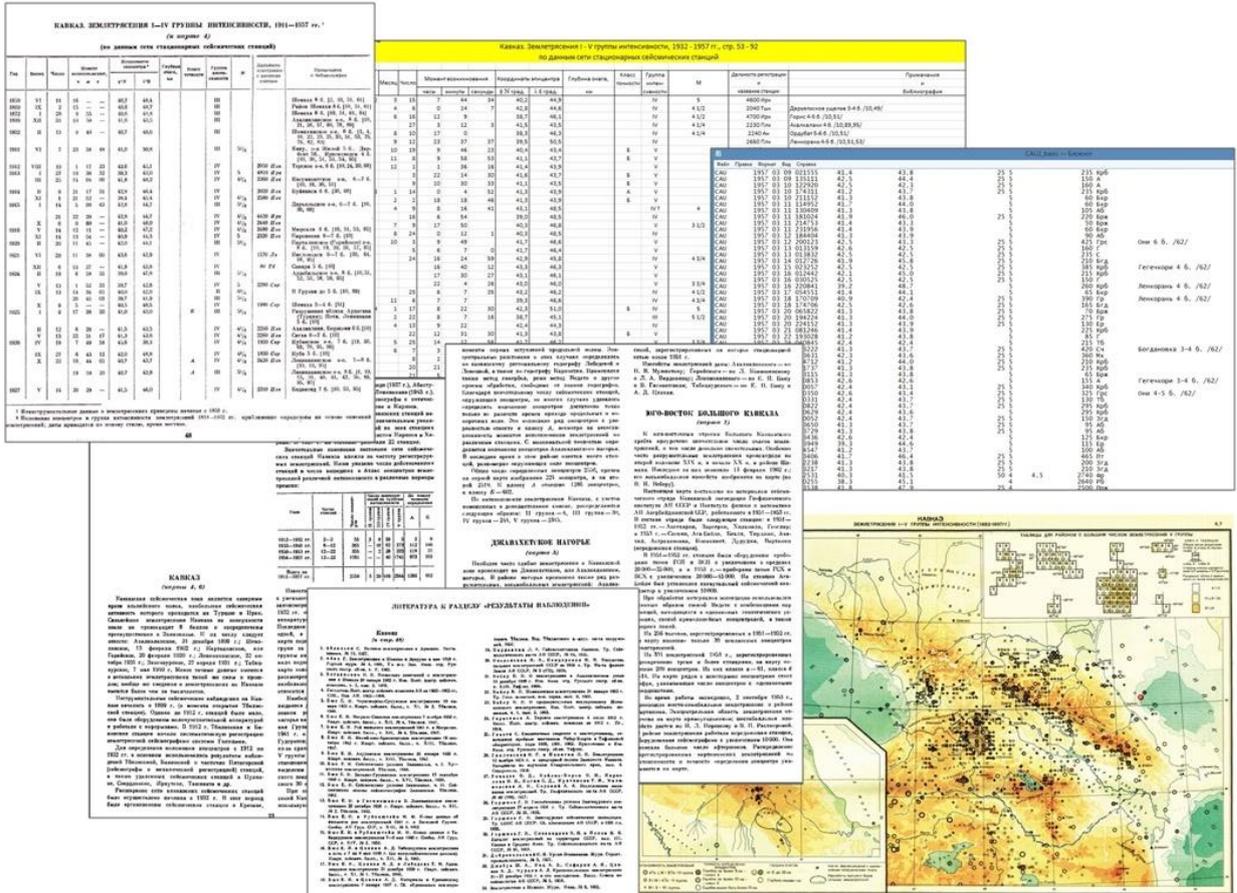


Рисунок 4.4 – Набор данных и информации, представленных в базе данных на страницах сайта для сейсмоактивной зоны Кавказа и её частей – Юго-Востока Большого Кавказа и Джавахетского нагорья: фрагменты каталога землетрясений в трех форматах, описаний зоны и ее частей, библиографии и карты зоны

В 2022 году подготовлены описания в стандарте Crossref XML схемы и осуществлена регистрация в Crossref с присвоением DOI четырех баз и наборов данных, которые опубликованы в «Базе данных по наукам о Земле». Страницы отклика для зарегистрированных наборов данных доступны на веб-сайте Центрального репозитория ESDB <http://esdb.wdcb.ru/>.

4.2 Развитие ПО ORBUS, адаптация новых данных по наукам о Земле и создание тематических анимационных слайдов для визуализации на цифровом демонстрационном комплексе со сферическим экраном. Реализация технологий дополненной реальности на базе ПО ORBUS с использованием технологий сферической визуализации

На сегодняшний день в рамках парадигм «Digital Earth» и «True-3D» [Buchroithner, Knust, 2013] активно развивается совокупность технологий геовизуализаций по направлениям аппаратно-программных комплексов со сферическим экраном (АПК СЭ),



виртуальных глобусов и расширенной реальности (англ. Extended Reality, аббр. XR), обобщаемых группой исследователей как интерактивные сферические визуализации (ИСВ) [Presnyakov *et al.*, 2020; 2021]. Перечисленные технологии позволяют избежать одноракурность и одномасштабность планарных карт, избавиться от геометрических искажений, присущих любой 2D картографической проекции, а также обеспечить естественность представления и взаимодействия.

В Геофизическом центре РАН накоплены большие объемы данных по наукам о Земле, а также собраны воедино сторонние открытые источники данных, позволяющие следить за глобальными пространственно-временными процессами и явлениями. Ежегодно новые массивы данных адаптируются под формат разрабатываемой авторской платформы ИСВ «ORBUS-PRO», объединяющей в себе АПК СЭ «ORBUS» под управлением семейства одноименного программного обеспечения (ПО), веб-приложение виртуальный глобус «ORBUS Web», а также на стадии экспериментальных исследований мобильное приложение дополненной реальности «ORBUS AR». Каждая компонента платформы автономна и отвечает за решение отдельных задач, при этом все они функционируют на базе общей методологии, программной архитектуры и мультидисциплинарной базы данных (БД).

Среди растровых форматов был проведен анализ возможностей формата WebP (Web Picture), реализующего алгоритмы сжатия с потерями и без потерь, а также поддерживающий анимацию и прозрачность. Среди векторных форматов был рассмотрен формат SVG, не являющийся геоформатом, но позволяющий использовать широкий спектр визуальных эффектов.

Развитие семейства ПО ORBUS

Разработана «Программа визуализации данных на сферическом экране Орбус (ORBUS) 3.0» (*свидетельство о госрегистрации программы ЭВМ № 2022683072 от 30.11.2022*), предназначенная для создания и отображения на АПК СЭ (методом обратного проецирования) ИСВ планетарных данных в виде слайдов (цифровой модели планетарных процессов). Текущая версия представляет собой модификацию программы «ORBUS 2.0» в плане:

- модернизации архитектуры организации исходных данных (рис. 4.5);
- реализации графического диалогового режима интерфейса для добавления картографических слоев, создания и редактирования картографических иконок и надписей, а также сопроводительной информации (рис. 4.6);
- поддержки логирования работы программы с сохранением в файл и др.

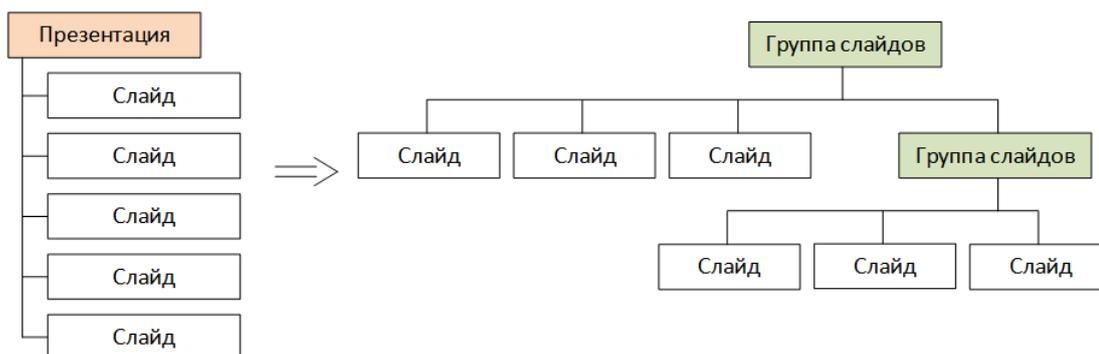


Рисунок 4.5 – Переход от объекта «Презентация» к объекту «Группа слайдов»

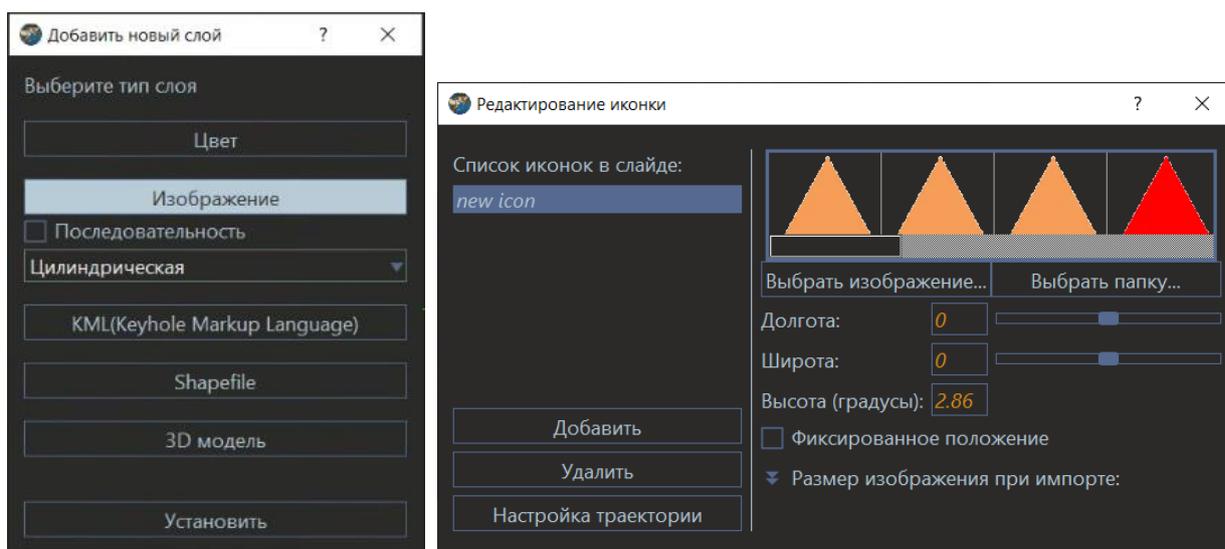


Рисунок 4.6 – Окна добавления слоев и настройки стиля картографических иконок

В дополнение разработана «Программа загрузки данных форматов kml» (свидетельство о госрегистрации программы ЭВМ № 2022683058 от 30.11.2022), предназначенная для обработки данных ГИС-формата KML (аббр. от англ. Keyhole Markup Language) на основе библиотеки libkml. В программе выполняется конвертация результата работы функций искомой программной библиотеки, упрощающая обработку актуальных форматов файлов Google Earth.

Разработан прототип программного продукта под рабочим названием «ORBUS One», представляющий интегральную унифицированную среду разработки направлений ИСВ:

- АПК СЭ, формирующим визуализацию методом обратного проецирования;
- веб-приложения виртуальный глобус.

«ORBUS One» можно интерпретировать как многооконное приложение – систему взаимосвязанных страниц браузера, отображаемых на соответствующих видеоприборах



в режиме киоска (рис. 4.7 и 4.8). Рендеринг страниц происходит на базе технологий HTML5 и WebGL.

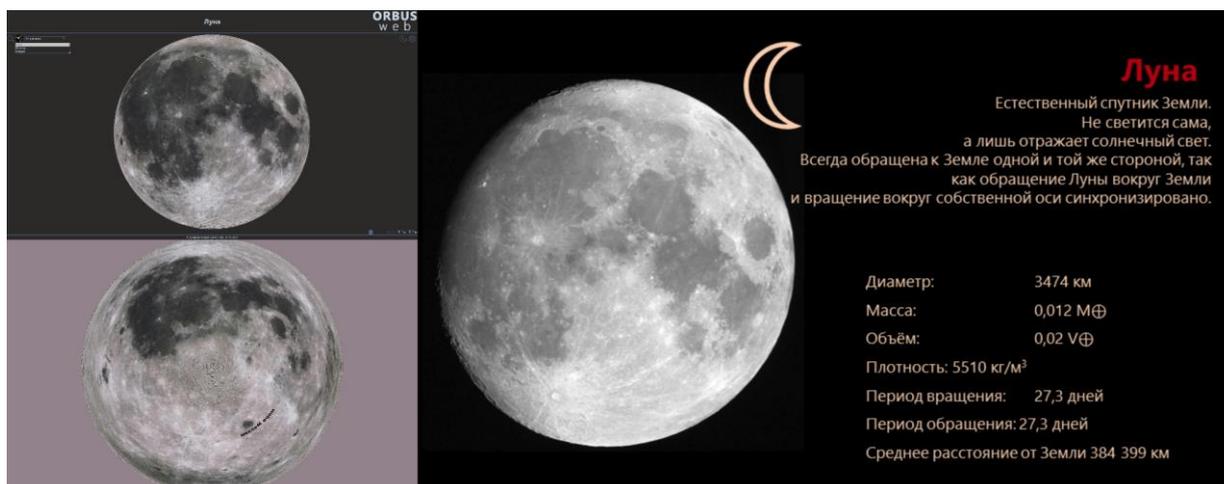


Рисунок 4.7 – Формируемые в результате работы ПО «ORBUS One» изображения, передающиеся на соответствующие видеоприборы: сферический проекционный экран (слева снизу), сенсорная панель (слева сверху) и ЖК панель (справа)



Рисунок 4.8 – АПК СЭ под управлением программы «ORBUS One»

Важное различие виртуальных глобусов и сферических экранов заключается в методах отображения 3D-моделей объектов в привязке к поверхности геошара: финальная сцена виртуального глобуса корректно растеризуется на матрице плоского экрана, в то время как отображение 3D объектов на сферическом экране неизбежно искажается при смене ракурса просмотра ввиду двумерности поверхности проецирования. Поэтому для сферических экранов коллективом авторов предлагается переход к более продвинутым способам моделирования расширенной реальности – «ORBUS AR». В таком случае АПК СЭ воспринимается как истинный объект физического мира, т.е. доступный наблюдателям вне зависимости от наличия вспомогательных устройств. На экране

мобильного устройства, планшетного компьютера, оборудованных камерой, или AR-очков, сферический слайд дополняется динамичными и реалистичными 3D образами (рис. 4.9). Работа проектируемого AR-приложения выстраивается по следующему алгоритму:

1. Захват видеопотока с камеры устройства;
2. Анализ видеок кадров на ключевые точки (совокупность которых составляет так называемый AR-маркер), основываясь на алгоритмах компьютерного зрения и машинного обучения;
3. При их успешном распознавании вычисляется матрица преобразований, определяющая положение наблюдателя (камеры), благодаря чему виртуальный 3D объект корректно позиционируется в кадре.



Рисунок 4.9 – ИСВ «Кольца Сатурна», представленные посредством АПК СЭ «ORBUS»

Создание и адаптация новых данных по наукам о Земле для ИСВ

Подготовлены материалы для базы сферических визуализаций «Астрономия. Планеты Солнечной системы», предназначенной для использования в качестве контента ИСВ и включающей в себя коллекцию (анимированных) космофотоснимков планет Солнечной системы в проекции «Plate Carree» в совокупности с сопроводительными материалами. Карты-(видео)текстуры планет агрегированы из сетевых хранилищ NASA (аббр. от англ. National Aeronautics and Space Administration), JWST (аббр. от англ. James Webb Space Telescope), и прошли графическую доработку для наиболее детального, яркого и контрастного отображения лазерным UHD (аббр. от англ. Ultra High-Definition) проектором на сферическом проекционном экране методом обратного проецирования (рис. 4.10).

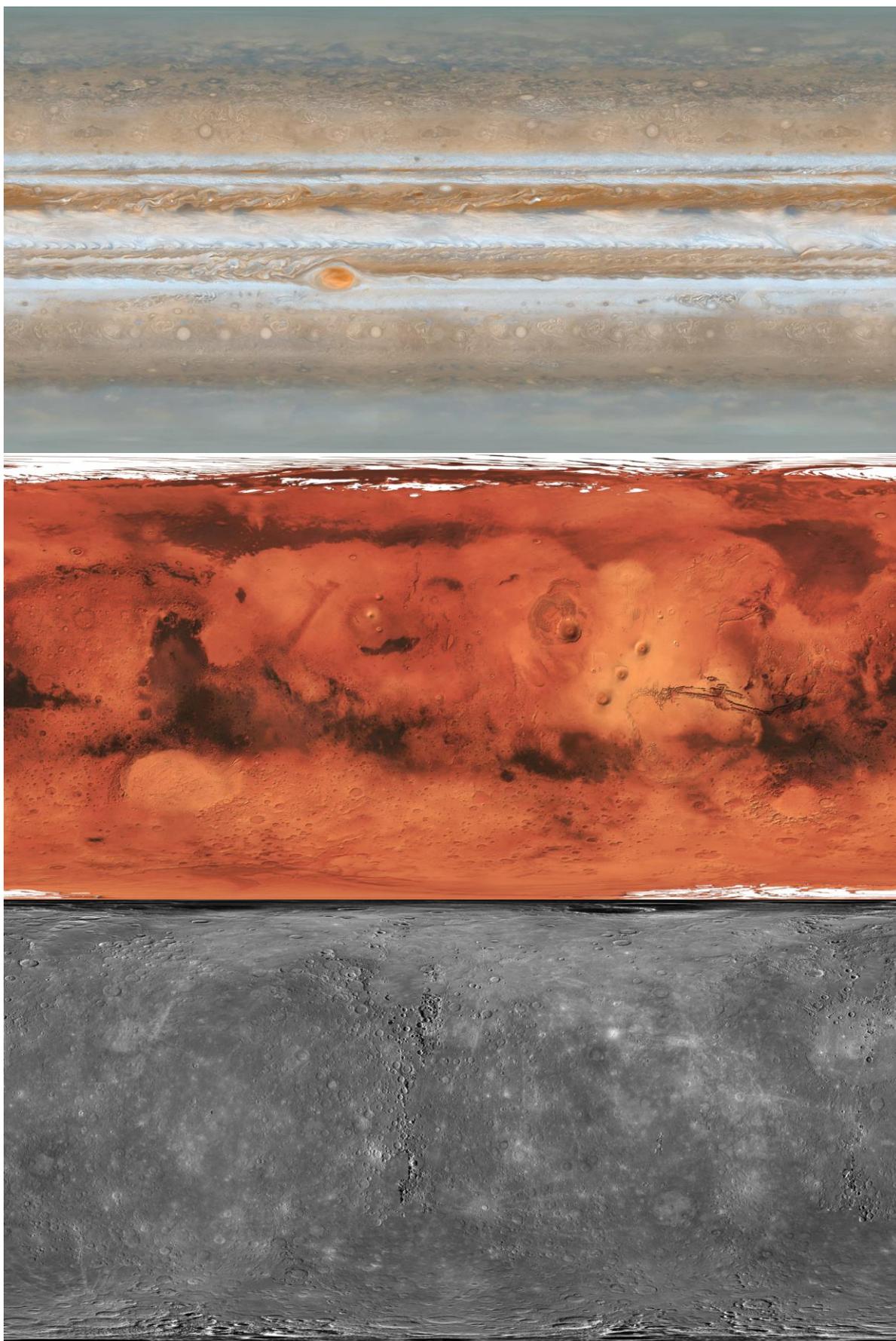


Рисунок 4.10 – Примеры карт планет Юпитера, Марса и Меркурия



Проведен сбор, научная верификация и экспертная оценка материалов для создания сопроводительных материалов-изображений (рис. 4.11), предназначенных для вывода на современные высококачественные широкоформатные экраны.

Земля

Третья по удалённости от Солнца планета Солнечной системы. Научные данные указывают на то, что Земля образовалась из солнечной туманности около 4,54 млрд лет назад и вскоре после этого обрела свой единственный естественный спутник — Луну. Озоновый слой и магнитное поле ослабляют вредную для жизни солнечную радиацию, тем самым сохраняя условия существования жизни на Земле, появившейся примерно 4,25 млрд лет назад (человек — около 2,6 млн лет назад). Рельеф Земли очень разнообразен. Около 70,8% поверхности планеты покрыто водой. Высочайшей точкой поверхности Земли является гора Эверест (8848 м над уровнем моря), а глубочайшей — Марианская впадина (10 994 м под уровнем моря).

Диаметр:	12 756 км
Плотность:	5510 кг/м ³
Масса:	5,98 * 10 ²⁴ кг
Объём:	10,83 * 10 ¹¹ км ³
Период вращения:	23 ч 56 м 04,1 с
Период обращения:	365,26 дней
Температура на поверхности:	от -85 °C до +70 °C
Среднее расстояние до Солнца:	1 а.е.

Марс

Четвёртая по удалённости от Солнца планета Солнечной системы. Наиболее изученная планета земной группы. Внешний вид Марса сильно изменяется в зависимости от времени года. Весеннее таяние полярных шапок вызывает пылевые бури, которые достигают скорости до 100 м/с и практически полностью скрывают поверхность планеты. Отсутствие магнитосферы и крайне разреженная атмосфера Марса не способствуют поддержанию жизни на планете, однако астрономы предполагают, что раньше планеты была населена живыми существами. Потухший вулкан гора "Олимп" возвышается на рекордную высоту 26 км от основания, что делает его самой высокой горой Солнечной системы. У планеты есть два спутника: Фобос и Деймос.

Диаметр:	6794 км
Плотность:	3930 кг/м ³
Масса:	0,11 M \oplus
Объём:	0,15 V \oplus
Период вращения:	24 ч 37 м \oplus
Период обращения:	687 сут \oplus
Температура на поверхности:	от -153 до +35 °C
Среднее расстояние до Солнца:	1,52 а.е.

Сатурн

Вторая по размерам планета в Солнечной системе, шестая по удалённости от Солнца, газовый гигант. У всех газообразных гигантов есть система колец, однако у Сатурна она самая заметная. Дифференциальное вращение атмосферы Сатурна подобно вращению атмосфер Юпитера и Венеры, а также Солнца. Вокруг планеты обращается 83 известных на данный момент спутника. Крупнейшие спутники — Титан, Мимас, Энцелад, Тефия, Диона, Рея и Япет — были открыты в ещё в XVIII в., а в 1980–1981 гг. «Вояджер-1» сделал ряд их фотографий в высоком разрешении.

Диаметр:	120 000 км
Плотность:	6900 кг/м ³
Масса:	95,0 M \oplus
Объём:	764,0 V \oplus
Период вращения:	10 ч 40 м \oplus
Период обращения:	29,46 г \oplus
Среднее расстояние до Солнца:	9,58 а.е.

Рисунок 4.11 – Сопроводительные материалы-изображения ИСВ «Земля», «Марс», «Сатурн»



Для легенд, схем (рис. 4.12) и иконок (рис. 4.13) ИСВ, выводимых на сенсорную панель АПК СЭ (рис. 4.14), исполнены аналогичные процедуры сбора, научной верификации, графической художественной детализации и векторизации в ряде случаев.

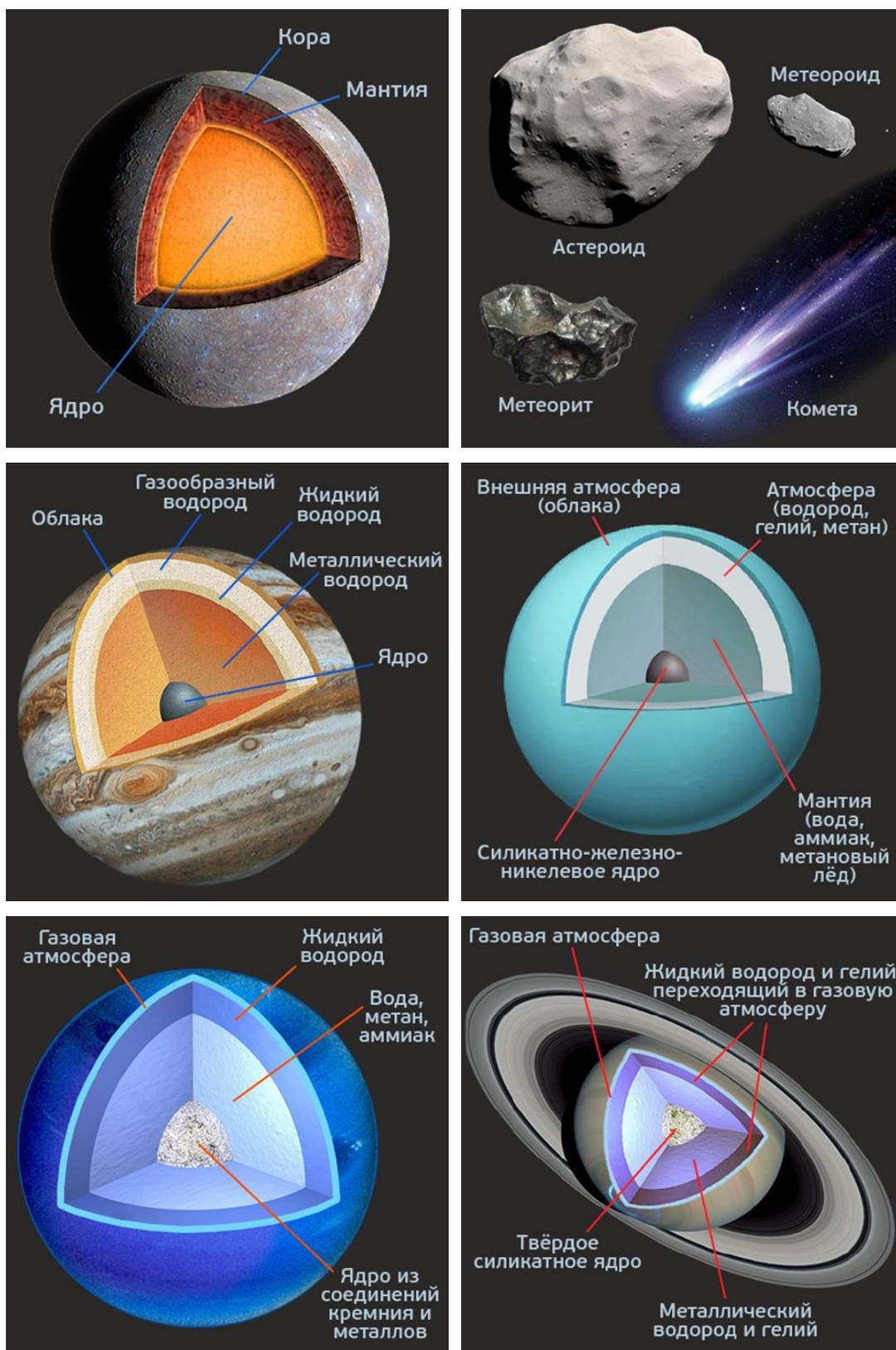


Рисунок 4.12 – Легенды или схемы ИСВ

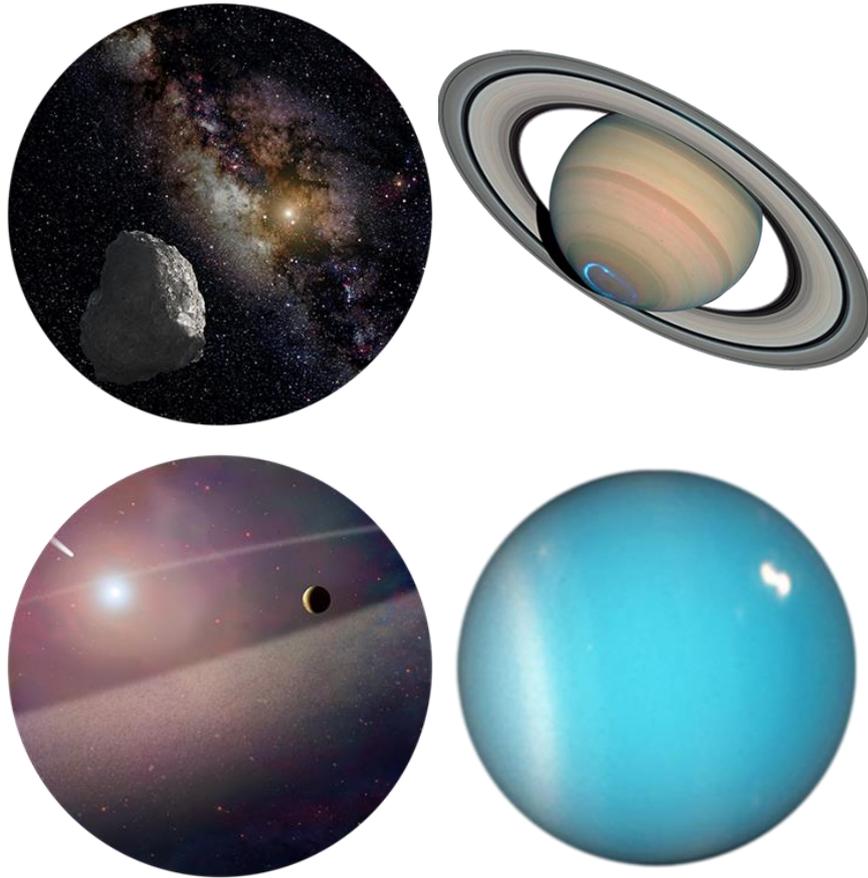


Рисунок 4.13 – Иконки ИСВ

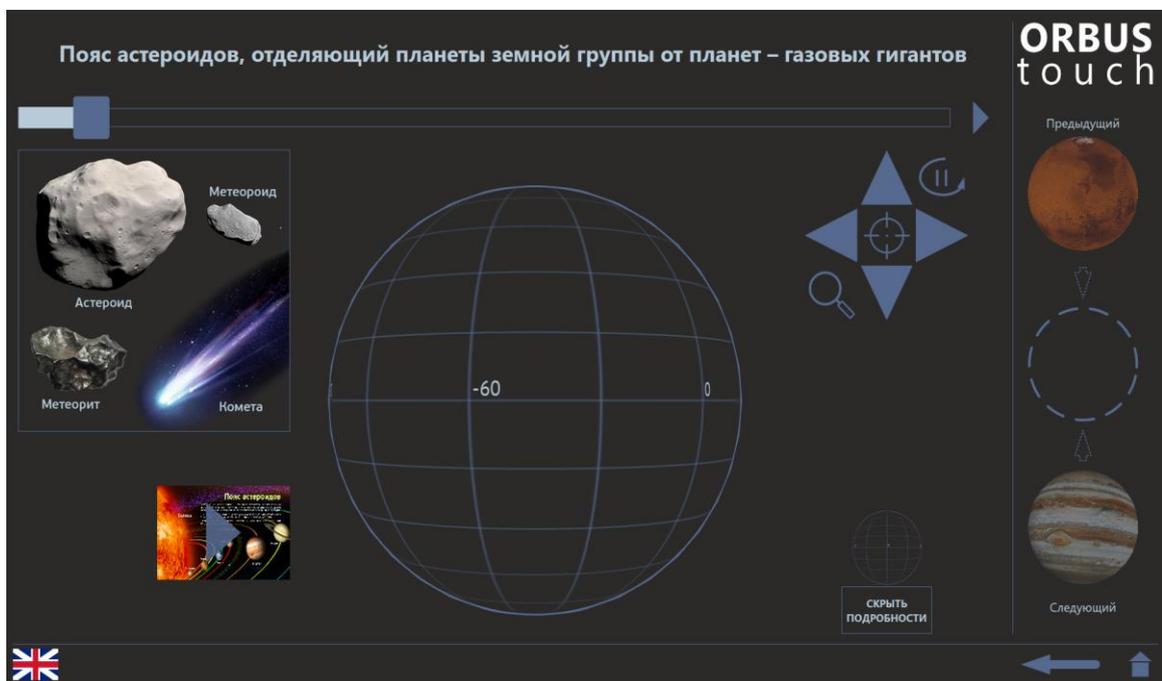


Рисунок 4.14 – Формируемое в результате работы ПО «ORBUS Touch» изображение, передающееся на сенсорную панель. Легенда отображается слева сверху, превью сопроводительного материала-изображения – слева снизу, иконки последующей и предыдущей ИСВ – справа



4.3 Развитие алгоритмической базы метода FCAZ для распознавания мест возможного возникновения землетрясений

В рамках Дискретного математического анализа (ДМА), оригинального подхода к анализу данных, использующего нечеткую математику и нечеткую логику, разрабатываются методы, так называемой, DPS-кластеризации [Agayan *et al.*, 2022]. DPS-кластеризация активно и эффективно применяется во многих геолого-геофизических исследованиях: анализе сейсмических каталогов, поиске сигналов на геофизических записях, в проблеме захоронения радиоактивных отходов и др. Она является алгоритмическим ядром системного метода FCAZ (Formalized Clustering And Zoning), предназначенного для выполнения распознавания мест возможного возникновения землетрясений [Dzeboev *et al.*, 2021].

В 2022 году были продолжены авторские исследования, направленные на поиск решения задачи определения потенциально высокосейсмичных районов. Они, в частности, были посвящены развитию математического аппарата и алгоритмической базы метода FCAZ. Ранее FCAZ представлял собой последовательное применение двух математических блоков: алгоритм кластеризации (топологической фильтрации) DPS и алгоритм E^2XT , отвечающий за сканируемость DPS-кластеров при построении на их основе плоских зон внутри которых могут возникать сильные землетрясения. В 2022 году в структуре FCAZ разработан новый математический блок – алгоритм Int, применяемый одновременно с E^2XT и отвечающий уже за связность DPS-кластеров.

На базе существенно развитого математического аппарата метода FCAZ построены новые зоны возможного возникновения землетрясений с $M \geq 6,5$ в Калифорнии (рис. 4.15). Отличительной особенностью нового FCAZ-распознавания является объединение в крупные единые связанные потенциально высокосейсмичные зоны ряда более мелких зон, расположенных на сравнительно небольшом расстоянии друг от друга.

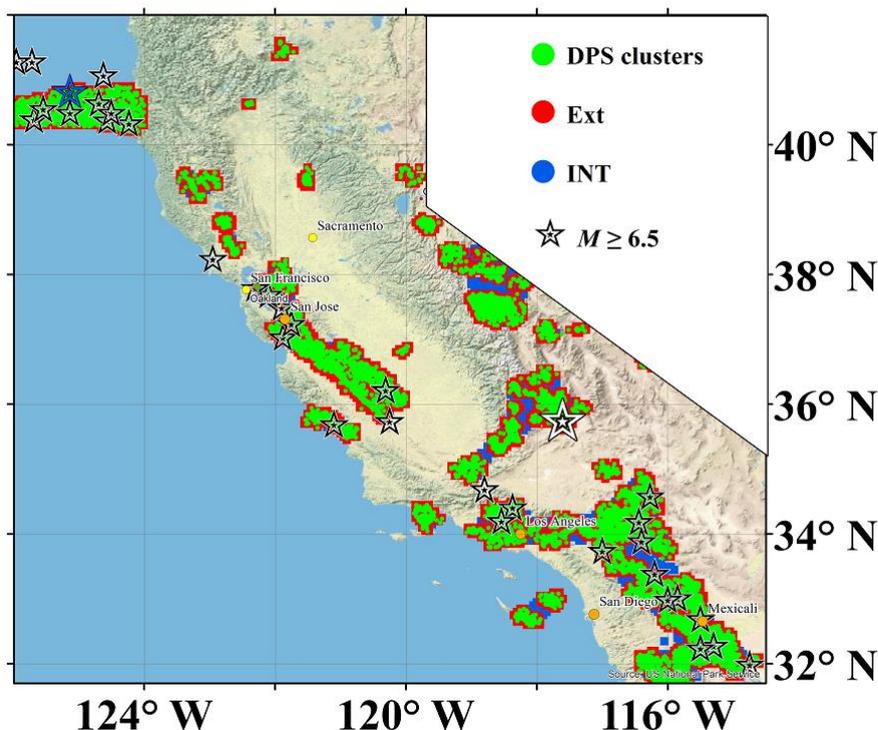


Рисунок 4.15 – Новые FCAZ-зоны возможного возникновения землетрясений с $M \geq 6,5$ в Калифорнии и эпицентры землетрясений с $M \geq 6,5$

4.4 Оценка эффективности использования аналитики Больших данных в задаче распределенного хранения геофизических данных

В 2022 году были продолжены исследования, направленные на внедрение аналитики Больших данных в геофизику и смежные направления наук о Земле. В частности, проведена оценка эффективности использования аналитики Больших данных в задаче распределенного хранения геофизических данных. На основе развернутого в ГЦ РАН кластера распределенных вычислений и тестирования его работы с базой аналитического центра геомагнитных данных межрегионального сегмента ИНТЕРМАГНЕТ была показана возможность применения свободно распространяемого программного обеспечения Apache Hadoop для работы с Большими данными в геофизике.

4.5 Актуализация базы данных спутниковой альтиметрии. Исследование особенностей гидрологического режима Охотского и Японского морей по данным спутниковой альтиметрии

В 2022 году осуществлена запись данных спутников Jason-3 и SARAL/AltiKa в исходном формате и переформатирование в формат Интегрированной Базы Данных Спутниковой Альтиметрии (ИБДСА). Для формирования Базы данных с сайтов были экспортированы и заархивированы данные спутников: окончательные данные (Geophysical



Data Records – GDR) и данные о форме отраженного импульса (Sensory Geophysical Data Record – SGDR). Кроме этих данных ИБДСА была пополнена данными из базы Radar Altimeter Database System (RADS) спутников (<http://rads.tudelft.nl/rads/status.shtml>) Дельфского технологического университета. Общий объем данных в архивированном виде составил более 39 Тбайт.

Анализ временной изменчивости уровня Охотского и Японского морей проводился согласно методике мониторинга изменчивости уровня по данным спутниковой альтиметрии, разработанной в Геофизическом центре РАН. В качестве исходных данных использовалась информация со спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1/2/3. Точность измерения высоты спутника над морской поверхностью для этих программ составляет 1,7 см, а расчет самой высоты моря относительно отсчетного эллипсоида – 4,2 см и является наилучшей по сравнению с другими программами альтиметрических измерений.

Расположение восходящих и нисходящих треков (внутри каждого 10-суточного изомаршрутного цикла) по акватории Охотского и Японского морей наиболее оптимально, что позволяет анализировать изменчивость уровня вдоль треков с пространственным осреднением 5-6 км. Временной масштаб повторения измерений вдоль трека 9,916 суток (т.е. примерно 3 раза в месяц или 6 раз в месяц в точках пересечения треков) наиболее приемлем для исследования синоптической и сезонной изменчивости уровня внутренних морей, которыми являются оба моря. Данные спутника TOPEX/Poseidon представляют самый длинный временной ряд измерений аномалий уровня моря (сентябрь 1992 г. – август 2002 г. или 001-364 цикл) с возможностью дополнения ряда данными Jason-1 (август 2002 г. – январь 2009 г. или 001-260 цикл), данными Jason-2 (август 2008 г. – октябрь 2016 г. или 000-303 цикл) и данными Jason-3 (февраль 2008 г. – май 2022 г. или 000-225 цикл) по одним и тем же трекам.

Межгодовая изменчивость уровня Охотского моря в целом имеет положительную тенденцию к росту со скоростью - $2,1 \pm 0,4$ мм/год (рис. 4.16), хотя по пространству она не однородна (рис. 4.17). В районе юго-восточной части Курильской котловины наблюдается скорость роста более + 3,0 мм/год. Аналогичная скорость подъема наблюдается от м. Елизаветы (о-в Сахалин) по изобате 130 м в направлении хр. Джугджур. Максимальный рост уровня локализован в районе юго-западнее Шандарских островов и в Едской губе. В заливе Шелехова и в Пенженской губе скорость подъема уровня не превышает + 2,25 мм/год.

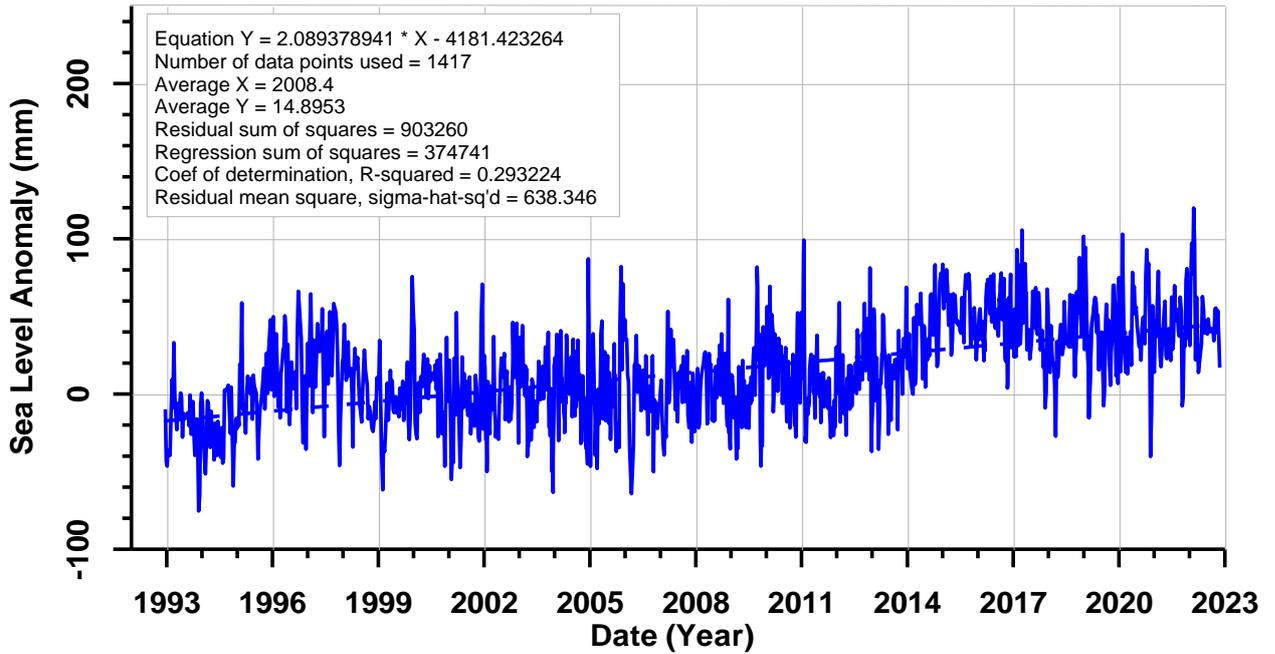


Рисунок 4.16 – Межгодовая изменчивость уровня Охотского моря по данным альтиметрических измерений спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1/2/3

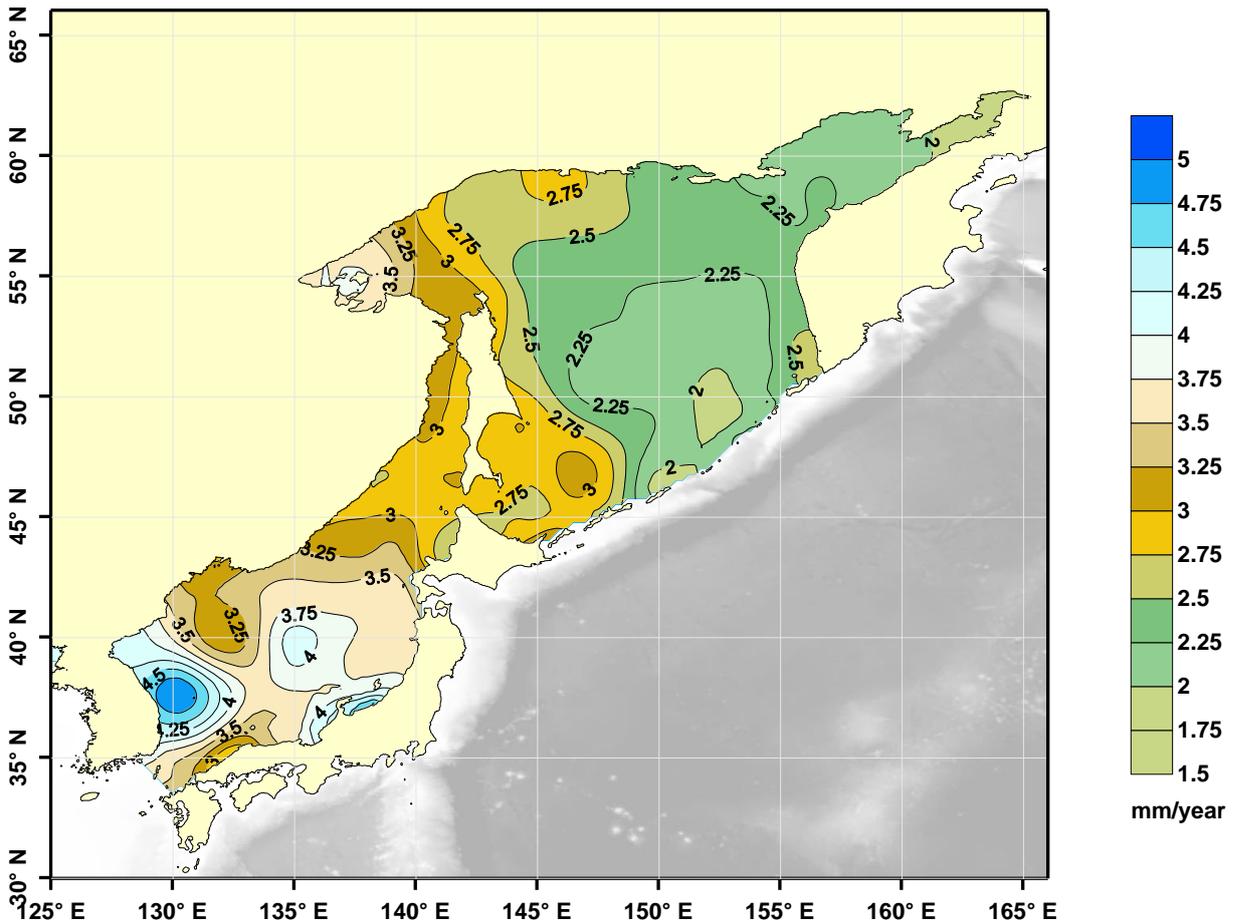


Рисунок 4.17 – Пространственная неоднородность межгодовой изменчивости уровня Охотского и Японского морей по данным альтиметрических измерений спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1/2/3 за период 1993-2021 гг.



Для Японского моря общая тенденция межгодовой изменчивости уровня также положительная – он растет со скоростью $+3,4 \pm 0,7$ мм/год (рис. 4.18). В Татарском проливе и проливе Лаперуза уровень растет со скоростью более $+2,75$ мм/год и у южного побережья о-ва Хонсю между о-вом Садо и п-овом Нато, а также у восточного побережья Республики Корея наблюдаются максимальные скорости подъема уровня более $+4,5$ мм/год.

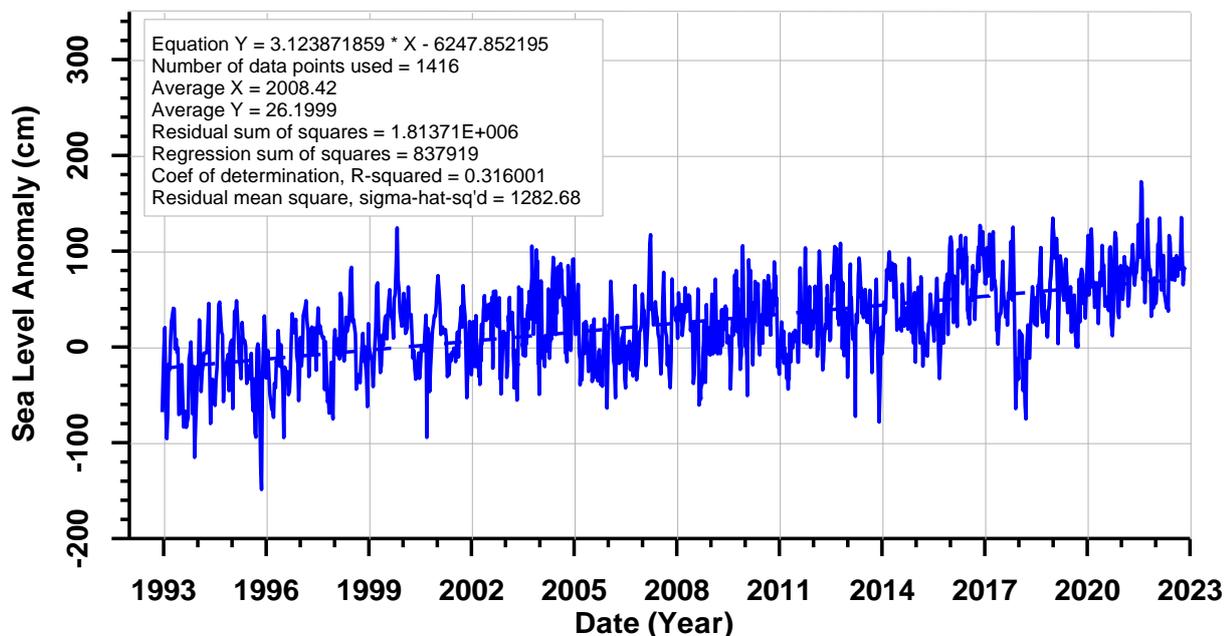


Рисунок 4.18 – Межгодовая изменчивость уровня Японского моря по данным альтиметрических измерений спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1/2/3

4.6 Развитие инфраструктуры ГИС для представления и анализа данных по наукам о Земле

Общая характеристика инфраструктуры ГИС ГЦ РАН

ГИС-инфраструктура, развиваемая в ГЦ РАН, основана на стандартном клиент-серверном подходе и состоит из трех ключевых сегментов [Соловьев и др., 2018а]: БД-сервера для размещения геопространственных данных, ГИС-сервера для размещения картографических сервисов и сервисов геообработки и веб-сервера для размещения сетевых клиентских приложений. Такой подход является гибким, удобным в управлении и хорошо масштабируемым.

База геопространственных данных включает в себя более 200 цифровых картографических слоев, распределенных по 20 тематическим категориям, а также отдельные наборы слоев, сформированные в рамках выполнения программ фундаментальных исследований Президиума РАН и грантов РФФИ. Картографические слои объединены и опубликованы на ГИС-сервере в стандартном формате картографических сервисов, доступ к которым осуществляется посредством протоколов обмена картографической информацией, поддерживаемых OGC. Таким образом, обеспечена

возможность непосредственного обращения к картографическим сервисам с использованием специализированного ПО.

Для взаимодействия пользователя с опубликованными картографическими сервисами без использования специализированного ПО развернуты геопорталы, обеспечивающие эффективное использование и анализ пространственных данных, полученных в результате научных изысканий. В 2022 году работы в рамках НИР были направлены на решение задач интеграции инструментов геообработки в функционал клиентского приложения геопортала по оценке сейсмической опасности.

Интеграция инструментов геообработки

Для анализа геопространственных данных, представленных в виде растровых и векторных объектов, средствами ГИС требуются специализированные тематические инструменты геообработки.

В рамках текущей НИР была проведена работа по интеграции нескольких инструментов геообработки для клиентского приложения геопортала по оценке сейсмической опасности. Процесс подготовки и публикации инструментов выполнялся в программной среде ArcGIS в несколько этапов. Исходный код инструмента был написан на высокоуровневом языке Python с применением ГИС-ориентированной библиотеки ArcPy. Затем программа тестировалась в клиентском приложении ArcMap и выкладывалась на ГИС-сервер в виде сервисного файла. На финальном этапе происходила публикация программы в виде инструмента геообработки на тематический геопортал [Соловьев и др., 2018б; Nikolov et al., 2015; Soloviev et al., 2016]. На рис. 4.19 представлена общая блок-схема процесса создания и интеграции в ГИС инструмента геообработки.



Рисунок 4.19 – Схема процесса подготовки инструментов геообработки для интеграции в клиентское приложение геопортала



Инструменты геообработки, интегрированные в 2022 году, ранее были разработаны специалистами ГЦ РАН в ходе реализации проекта РНФ № 15-17-30020 «Применение системного анализа для оценки сейсмической опасности в регионах России, включая Кавказ – Крым и Алтай – Саяны – Прибайкалье» в 2015-2017 гг. Рассмотрим подробнее каждый из них.

Инструменты «Линеаменты» и «Пересечения линеаментов» позволяют построить продольные и поперечные морфоструктурные линеаменты, начиная от крупных, границ горных стран (линеаменты I-го ранга), заканчивая наименьшими, границами блоков земной коры (линеаменты III-го ранга). В качестве входного слоя данных для проведения анализа используется слой результатов морфоструктурного районирования. Также пользователем производится выбор региона, для которого будет проведен данный анализ. Важным уточнением является то, что инструменты могут проводить анализ различных регионов с повышенной сейсмичностью. На выходе инструмент отображает все линеаменты и их пересечения, представленные в выбранном регионе.

Инструмент «FCAZ» (Formalized Clustering and Zoning) позволяет провести распознавание мест возможного возникновения землетрясений путем выполнения кластерного анализа каталога землетрясений на исследуемой территории. В качестве объектов распознавания данный инструмент использует эпицентры достаточно слабых землетрясений, что в свою очередь дает возможность развивать во времени результат распознавания районов, подверженных сильным землетрясениям [Гвишиани и др., 2016; Dzeboev et al., 2020]. На вход инструмента подаются каталоги землетрясений. В качестве уточняющего слоя данных также выбирается регион, для которого производятся расчеты. На выходе инструмент отображает территории, наиболее подверженные возникновению сильных землетрясений.

Инструмент «Эпицентры землетрясений» позволяет отображать все эпицентры землетрясений для выбранного региона в заданных границах значений магнитуд. В качестве входных слоев данных для работы инструмента поступают данные калиброванного каталога землетрясений, а также выбирается регион, для которого будет выполнен анализ. В качестве уточняющего параметра пользователем указываются значения максимальной и минимальной магнитуды. На выходе инструмент выводит все эпицентры землетрясений для заданного региона, в пределах заданного диапазона магнитуд.

Инструмент «Параметры Буге» позволяет рассчитывать параметры гравитационного поля в окрестностях заданных точек на основе анализа аномалий Буге. Гравитационные аномалии Буге представляют собой разность наблюдаемого и теоретического полей силы тяжести при введении соответствующих



поправок [Kaban *et al.*, 2021]. В качестве входных параметров для работы инструмента подаются данные рассчитанного гравитационного поля аномалий Буге (модель EIGEN 6с2), также слой цифровой модели рельефа высот GEBCO и слой морфоструктурного районирования (слой с пересечениями морфоструктурных линеаментов). Пользователем указывается радиус поиска потенциальных аномалий (в километрах) и регион поиска. Результатом работы инструмента являются зоны с резкими локальными изменениями структуры гравитационного поля.

Инструмент «Параметры WDMAM» позволяет проводить анализ магнитных аномалий, на основе модели магнитного поля Земли WDMAM (World Digital Magnetic Anomaly Map) [Цифровая..., 2022]. В качестве входных данных для работы инструмента подается собственно цифровая карта магнитных аномалий мира WDMAM version 2, набор точечных данных для которых вычисляются значения параметров (слой с пересечениями морфоструктурных линеаментов), а также слой цифровой модели рельефа высот GEBCO. Пользователем также указывается радиус поиска потенциальных аномалий (в километрах) и регион поиска. В результате работы инструмента для выбранного региона отображаются зоны с аномальными изменениями магнитного поля.

Интеграция инструментов геообработки превращает геопортал по оценке сейсмической опасности из справочно-академического ресурса в полноценный инструмент анализа сейсмической информации и позволяет проводить сейсмическое районирование.

4.7 Редакционно-издательская деятельность

Геофизический центр РАН является учредителем и издателем трех онлайн-журналов – «Russian Journal of Earth Sciences» (<http://rjes.wdcb.ru/>), «Вестник Отделения наук о Земле РАН» (<http://onznews.wdcb.ru/>) и сериального электронного издания «Исследования по геоинформатике. Труды ГЦ РАН» («Geoinformatics Research Papers. Proceedings of the Geophysical Center RAS») (<http://ebooks.wdcb.ru/>).

Журнал «**Russian Journal of Earth Sciences**» (RJES) издается с 1998 года. В журнале публикуются оригинальные статьи на английском языке, посвященные наиболее важным достижениям во всех областях геологии, геофизики и геохимии, в том числе геоинформатики, экологии и физики атмосферы и океана. Публикация результатов научных исследований в RJES является не только простым способом научных коммуникаций, но и важнейшим этапом документирования научного контента, а также вносит значительный вклад в развитие наук о Земле.

Главная цель журнала – ознакомить научное сообщество с наиболее важными



научными результатами, полученными российскими учеными. Статьи, представляемые иностранными учеными или международными коллективами авторов, также приветствуются, в особенности публикации, посвященные общим проблемам наук о Земле.

Главным редактором журнала RJES с 2017 года является академик РАН А.Д. Гвишиани. В 2022 году в составе редакционной коллегии журнала произошли следующие изменения. Заместителем главного редактора стал д.ф.-м.н. Б.А. Дзобоев, ряды редакторов по направлению пополнили академик РАН В.Н. Захаров – горное дело, члены-корреспонденты РАН П.Н. Шебалин – геофизика, В.Н. Татаринov – геоэкология и В.И. Богоявленский – нефтегазовая геология и геофизика, д.ф.-м.н. Н.С. Безаева – геохимия, проф. С. Чанг (Китай) – дистанционное зондирование и исследования гравитационного поля. Членами редколлегии стали академик РАН С.А. Добролюбов, д.ф.-м.н. С.А. Лебедев, д.г.-м.н., проф. РАН М.А. Рогов, к.ф.-м.н. И.М. Алёшин, к.геол.н. Д.К. Карапетян (Армения), к.т.н. И.М. Никитина. Данное пополнение позволило усилить возможности редакции и несколько расширить тематику журнала, оставаясь при этом в рамках общего направления – науки о Земле. Также увеличилось количество поступающих в редакцию статей, повысились требования к качеству публикуемого материала. В 2022 году в RJES было окончательно установлено правило, что решение о принятии статьи к публикации будет приниматься на основании не менее двух положительных рецензий, в журнале действует одностороннее слепое рецензирование. За многие годы издания научного журнала редакционно-издательской группе Геофизического центра РАН удается оставаться на позиции журнала международного уровня, что выгодно отличает его от российских научных изданий. Данное утверждение подтверждается ежегодным повышением показателей качества журнала в библиографической базе данных Scopus (табл. 4.2).

Таблица 4.2 – Изменение основных показателей журнала RJES в Scopus в 2019-2021 годах.

Показатель	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Q3 квартиль	35 процентиль	35 процентиль	42 процентиль	46 процентиль
CiteScore	0,8	1	1,6	1,9 CiteScore Tracker
SNIP	0,793	0,689	0,724	-
SJR	0,288	0,303	0,333	-
H-index	17	17	19	20

На рис. 4.20 можно наглядно увидеть рост индикатора Scopus CiteScore, который

отражает среднее количество цитируемости последних статей, опубликованных в журнале RJES, а также процентиля в категории «General Earth and Planetary Sciences». Наряду с этим RJES индексируется системой Web of Science (Core Collection: Emerging Sources Citation Index), Российским индексом научного цитирования (РИНЦ), и зарегистрирован в системе Crossref. Каждая опубликованная в журнале статья имеет идентификатор DOI.

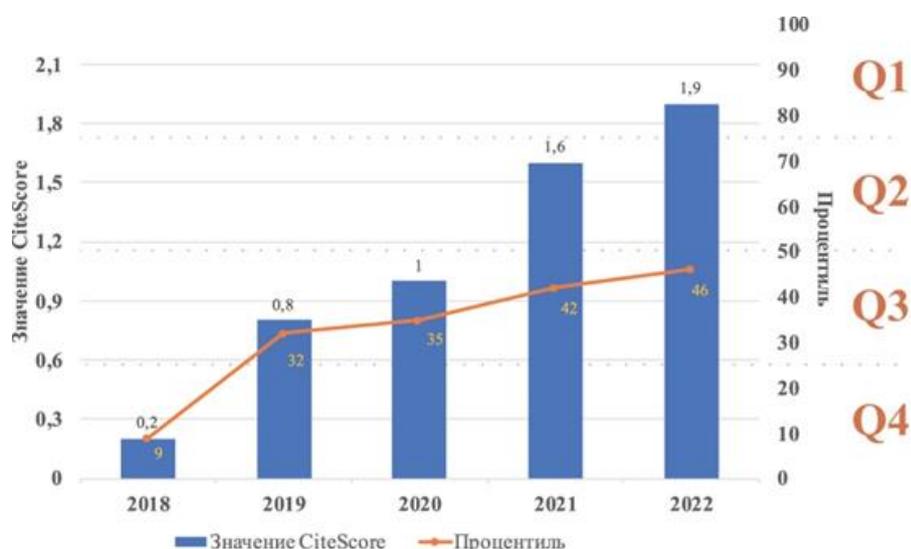


Рисунок 4.20 – График роста показателя CiteScore базы Scopus для RJES

Еще одним из нововведений, которые коснулись RJES, явилось решение редколлегии публиковать статьи на русском языке. Данное решение было продиктовано объективными условиями, в частности отказом большинства иностранных научных изданий от публикации статей российских ученых. В связи с этим в 2022 году возник спрос на отечественные издания, а вместе с тем произошла переориентация изданий на российского потребителя (читателя).

В 2022 году в «Russian Journal of Earth Sciences» наряду с текущими статьями был опубликован специальный выпуск «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии», который был посвящен VI Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий». Конференция проходила в 2021 году в Майкопском государственном технологическом университете (г. Майкоп, Республика Адыгея) в рамках «Года науки и технологий в России», в ней принимали участие сотрудники Геофизического центра РАН. В спецвыпуске было отобрано 12 статей участников конференции.

Научно-информационный журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН»



издается в формате электронного мультимедийного журнала с сентября 2009 г. Новости в нем обновляются ежедневно. Журнал зарегистрирован и индексируется в РИНЦ и Crossref. Наряду с официальными документами, в журнале публикуются материалы о наиболее значимых и интересных событиях в жизни Отделения наук о Земле РАН и его институтов, таких как международные и российские научные конференции, заключения договоров и важнейших научных соглашений по тематике ОНЗ РАН, развитие новых научных и научно-технических проектов, материалы о международном сотрудничестве институтов.

Кроме перечисленных выше журналов Геофизический центр РАН публикует сериальное электронное издание «**Исследования по геоинформатике. Труды ГЦ РАН**». Оно было учреждено Геофизическим центром РАН для публикации научных статей, тематика которых связана с информационными технологиями, внедренными в науки о Земле, научных отчетов, тезисов конференций, инструкций и т.д. Статьи, представленные в журнал, проходят через стандартный процесс экспертной оценки, за исключением статей, представленных членами Российской академии наук. Все статьи проходят редакционную обработку. Статьи и книги в этой серии публикуются с использованием самых современных технологий электронного издательства, включая мультимедийный и интерактивный контент.

По итогам 2022 года опубликовано 6 выпусков 22-го тома журнала «Russian Journal of Earth Sciences», общее количество статей в журнале – 42, в том числе в спецвыпуске – 12; в журнале «Вестник ОНЗ РАН» – 549 новостных сообщений и 2 научные статьи; в сериальном издании «Исследования по геоинформатике. Труды ГЦ РАН» – 1 отчет.

В 2021 году была произведена пробная установка российской издательской платформы мирового уровня для онлайн работы научных журналов и издательств Эдиторум. В 2022 году платформа доказала свою эффективность, редколлегия получает положительные отзывы от авторов и рецензентов по работе редколлегии и, в частности, по работе платформы. Платформа существенно облегчает подготовку публикаций и метаданных в соответствии с мировыми стандартами и требованиями Scopus и Web of Science. Была осуществлена загрузка текущих и архивных номеров журнала в онлайн редакцию и новый сайт научного журнала «Russian Journal of Earth Sciences» (рис. 4.21) за период с основания журнала в 1998 году по настоящее время. Тогда же для нового сайта был зарегистрирован домен второго уровня RJES.RU (<https://rjes.ru/en/nauka/>).

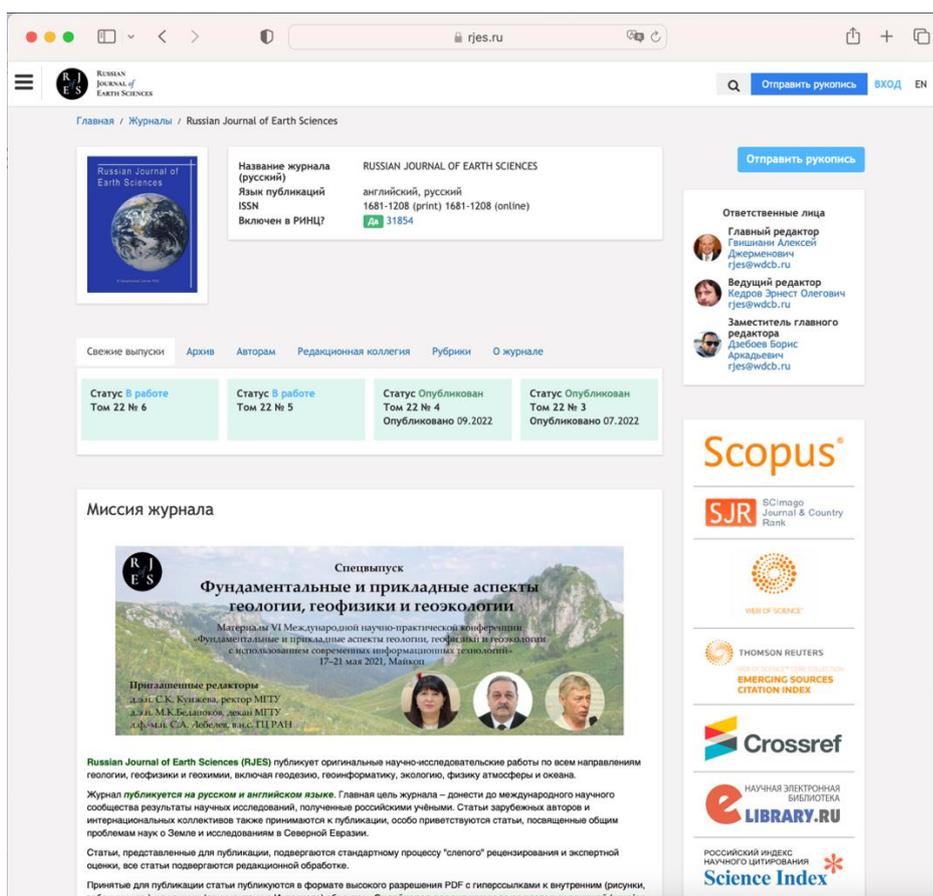


Рисунок 4.21 – Сайт журнала «Russian Journal of Earth Sciences» на издательской платформе Эдиторум.

Список использованных источников

Атлас землетрясений в СССР. Результаты наблюдений сети сейсмических станций СССР, 1911–1957 гг. / ред. Саваренский Е.Ф., Соловьев С.Л., Харин Д.А. – М.: Издательство АН СССР, 1962. – 337 с.

Гвишиани А.Д., Дзедобоев Б.А., Агаян С.М. Интеллектуальная система распознавания FCAZm в определении мест возможного возникновения сильных землетрясений горного пояса Анд и Кавказа // Физика Земли. – 2016. – № 4. – С. 3–23. – DOI: 10.7868/S0002333716040013.

Логачёв Ю.И., Базилевская Г.А., Власова Н.А., Гинзбург Е.А., Дайбог Е.И., Ишков В.Н., Лазутин Л.Л., Нгуен М.Д., Сулова Г.М., Яковчук О.С. Каталог солнечных протонных событий 24-го цикла солнечной активности (2009–2019 гг.) – НИИЯФ МГУ, ФИАН, ИПГ РОСГИДРОМЕТ, ИЗМИРАН, ГЦ РАН. М., 2022. – URL: http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/Catalog_SPE_24_cycle_SA.ru.pdf (дата обращения 2023-04-10) – DOI: 10.2205/ESDB-SAD-008.

Соловьев А.А., Красноперов Р.И., Николов Б.П., Жарких Ю.И., Агаян С.М. Веб-ориентированный программный комплекс для анализа пространственных геофизических данных методами геоинформатики // Исследование Земли из космоса. – 2018а. – № 2. – С. 65–76. – DOI: 10.7868/S0205961418020070.

Соловьев Ан.А., Соловьев Ал.А., Гвишиани А.Д., Николов Б.П., Николова Ю.И. ГИС-ориентированная база данных по оценке сейсмической опасности для регионов Кавказа



и Крыма // Исследование Земли из космоса. – 2018б. – № 5. – С. 52–64. – DOI: 10.31857/S020596140003241-6.

Цифровая карта WDMAM. [Электронный ресурс]. URL: <http://wdmam.org/> (дата обращения 2023-04-10).

Agayan S.M., Bogoutdinov S.R., Dzeboev B.A., Dzeranov B.V., Kamaev D.A., Osipov M.O. DPS clustering: New results // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12. – 9335. DOI: 10.3390/app12189335.

Buchroithner M., Knust C. True-3D in Cartography – Current Hard- and Softcopy Developments. Moore, A. and Drecki, I. (Hrsg.) // Geospatial Visualisation, Springer Lecture Notes in Geoinformation and Cartography (LNG&C). – 2013. – 41–65. – DOI:10.1007/978-3-642-12289-7_3.

Dzeboev B.A., Karapetyan J.K., Aronov G.A., Dzeranov B.V., Kudin D.V., Karapetyan R.K., Vavilin E.V. FCAZ-recognition based on declustered earthquake catalogs // Russian Journal of Earth Sciences. – 2020. – Vol. 20. – ES6010. – DOI: 10.2205/2020ES000754.

Dzeboev B.A., Gvishiani A.D., Agayan S.M., Belov I.O., Karapetyan J.K., Dzeranov B.V., Barykina Y.V. System-analytical method of earthquake-prone areas recognition // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11. – 7972. – DOI: 10.3390/app11177972.

Gvishiani A.D., Vorobieva I.A., Shebalin P.N., Dzeboev B.A., Dzeranov B.V., Skorkina A.A. Integrated earthquake catalog of the eastern sector of the Russian Arctic // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12. – 5010. – DOI: 10.3390/app12105010.

Kaban M., Gvishiani A., Sidorov R., Oshchenko A., Krasnoperov R.I. Structure and density of sedimentary basins in the southern part of the East-European Platform and surrounding area // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11. – Is. 2. – 512. – DOI: 10.3390/app11020512.

Logachev Yu.I., Bazilevskaya G.A., Daibog E.I., Ginzburg E.A., Ishkov V.N., Lazutin L.L., Nguyen M.D., Surova G.M., Vlasova N.A., Yakovchuk O.S. List of solar proton events in the 24 cycle of solar activity (2009–2019) // *ESDB repository, GC RAS, Moscow*, URL: http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/SPE_24_Summary_List.pdf (дата обращения 2023-04-10). – DOI: 10.2205/ESDB-SAD-P-007.

Nikolov B.P., Zharkikh J.I., Soloviev A.A., Krasnoperov R.I., Agayan S.M. Integration of data mining methods for Earth science data analysis in GIS environment // Russian Journal of Earth Sciences. – 2015. – Vol. 15. – ES4004. – DOI: 10.2205/2015ES000559.

Presnyakov S.V., Boyarshinov G.S., Odintsova A.A., Rybkina A.I. Spherical Visualization Database Prototype for Education and Scientific Research: Designing and Managing // *GraphiCon 2020: Proceedings of the 30th International Conference on Computer Graphics and Machine Vision*. – 2020. – Vol. 2. – 1–15. – DOI:10.51130/graphicon-2020-2-3-12.

Presnyakov S.V., Boyarshinov G.S., Borovskaya T.E., Rybkina A.I. Graphic file formats for web virtual globe // *GraphiCon 2021: 31st International Conference of Computer Graphics and Vision*. – 2021. – Vol. 2. — 580–588. – DOI:10.20948/graphicon-2021-3027-580-588.

Soloviev A.A., Zharkikh J.I., Krasnoperov R.I., Nikolov B.P., Agayan S.M. GIS-oriented solutions for advanced clustering analysis of geoscience data using ArcGIS platform // Russian Journal of Earth Sciences. – 2016. – Vol. 16. – DOI: 10.2205/2016ES000587.

5 Разработка теоретических основ и экспериментальных методик системного анализа для комплексного изучения геофизических, геодезических и метеорологических данных

Шифр темы: FMWG-2022-0008

Регистрационный №: 122080300190-6

Руководитель: в.н.с., к.ф.-м.н. Р. В. Сидоров

Ответственный исполнитель: г.н.с., д.т.н. В. Г. Гетманов

5.1 Пилотное развёртывание сети пунктов векового хода магнитного поля Земли

В 2022 г. в ходе выполнения НИР началось пилотное развёртывание сети ПВХ магнитного поля Земли. В качестве тестовой площадки был выбран пункт наблюдений на учебно-научной базе геофизических практик имени проф. В.К. Хмелевского Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова в деревне Александровка (Калужская область). В период с 27.01.2022 по 01.02.2022 были проведены измерения параметров магнитного поля (магнитного склонения, наклонения, и модуля вектора поля) в павильоне для геомагнитных измерений. Дополнительно съемке сопутствовали геодезические измерения для определения азимута визирной цели (миры).

Во время измерений использовались: геодезический комплекс GNSS R8, протонные магнитометры MMPOS (рис. 5.1а) для измерения вариаций магнитного поля и феррозондовый деклинометр/инклинометр на немагнитном теодолите Carl Zeiss Theo 010-A для проведения измерений склонения и наклонения (рис. 5.1б).



(а)



(б)

Рисунок 5.1 – Магнитометрическая аппаратура для измерений на ПВХ: скалярный магнитометр MMPOS (а), феррозондовый деклинометр/инклинометр на немагнитном теодолите Theo 010-A (б)

В ходе геодезических измерений получен азимут миры и выполнены первые измерения параметров склонения и наклонения. Полученные координаты в проекции WGS 84- UTM 36N, однако для достоверного измерения угла они были переведены в



географическую систему координат – WGS 84. Азимут – близкий к направлению на восток – $89,8911^\circ$ – при измерении из павильона. Также параллельно протонным магнитометром ММРОС в специальном отсеке возле павильона с дискретизацией 3 секунды регистрировались значения модуля магнитного поля с двумя целями: определение модульных значений поля и наблюдение за вариациями естественного поля Земли.

Измерения склонения и наклона проводились согласно переданной заранее инструкции, а именно офсетным методом [Инструкция, 2019]. Первый этап обработки измерений – внесение данных в ведомость и подготовка файлов с вариационной станции. После оцифровки, файлы загружались в скрипт, написанный на языке программирования MATLAB, рассчитывающий итоговые значения наклона, склонения, и модуля магнитного поля для данной точки. Результаты зимних измерений приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты зимних измерений. Среднее измеренное склонение $9^\circ 36' 22''$, наклонение $70^\circ 10' 14''$.

Дата	Склонение, °	Наклонение, °	Модуль магнитного поля, нТл
28.01.2022	9,614567	70,172423	52217,486
28.01.2022	9,530279	70,163776	52211,918
29.01.2022	9,614567	70,172423	52216,2675
29.01.2022	9,530279	70,163776	52221,61375
30.01.2022	9,644577	70,172547	52211,909
30.01.2022	9,633141	70,17281	52210,153
31.01.2022	9,597763	70,189578	52220,45575
31.01.2022	9,616826	70,194418	52222,67975
01.02.2022	9,650038	70,150579	52206,17733
01.02.2022	9,627812	70,154396	52201,07092

Сравнение полученных значений с данными IGRF [Alken et al., 2009] показало отличия от модельных значений по всем трём измеренным компонентам, т.к. по модельным данным значения склонения – $10,701^\circ$, наклона – $70,913^\circ$, модуля – $52351,4$ нТл. Различия могут быть вызваны погрешностями измерений, недостаточной магнитной чистотой павильона, наличием возможных крупных металлических конструкций в окрестностях павильона, наведением на визирную цель через стекло или какими-либо ещё факторами либо их совокупностью. Тем не менее, полученные результаты можно рассматривать как развёртывание нового ПВХ, который будет функционировать полноценно при устранении указанных помех и повторе измерений на регулярной основе (например, через год). Развёртывание сети ПВХ и её регулярный опрос позволят

предоставить экспериментальную базу измерений для регионального моделирования главного магнитного поля Земли.

5.2 Расширение и поддержка функционирования геомагнитных обсерваторий в РФ и Ближнем зарубежье

Летом и осенью 2022 г. геомагнитная обсерватория «Михнево», развёртываемая на базе одноимённой геофизической обсерватории, подведомственной ИДГ РАН им. ак. Садовского, была полностью дооснащена комплектом магнитометрической аппаратуры стандарта ИНТЕРМАГНЕТ. Интерьер абсолютного павильона представлен на рис. 5.2 слева. В абсолютном павильоне обсерватории установлены скалярный магнитометр POS-1 и феррозондовый деклинометр/инклинометр на немагнитном теодолите THEO 010 (рис. 5.2, в середине), в вариационном – трехкомпонентный векторный магнитометр FGE (рис. 5.2, справа), который до этого располагался в другом павильоне геофизической обсерватории «Михнево».



Рисунок 5.2 – Магнитная обсерватория «Михнево»:
интерьер абсолютного павильона (слева), феррозондовый деклинометр/инклинометр MinGeo на немагнитном теодолите THEO 010 (в середине) и трехкомпонентный векторный магнитометр DTU Space FGE (справа)

В ходе геодезических измерений на магнитной обсерватории определён азимут визирной цели. Это необходимо для абсолютных определений магнитного склонения и наклона в едином координатном пространстве, т.е. с использованием единой общеземной координатной основы. Для решения этой задачи был использован комплекты геодезической аппаратуры: ГНСС-приемники Topcon HiPer SR (с встроенной антенной) и PrinCe i50 (с встроенной антенной), электронный тахеометр Trimble M3 DR5" и комплект отражателей. Координаты пунктов визирной цели (кронштейн которой изображен на рис. 5.3а) и постамент для абсолютных измерений в павильоне обсерватории (рис. 5.3б) и были получены трижды.



Рисунок 5.3 – Абсолютный павильон и визирная цель геофизической обсерватории «Михнево»: а – абсолютный павильон; б – визирная цель

Определяемый азимут направления (рис. 5.4) составил $273^{\circ}44'40,2691''$. Примечательно, что азимут получился очень близким к строгому направлению на север ($270^{\circ}00'00,0000''$).

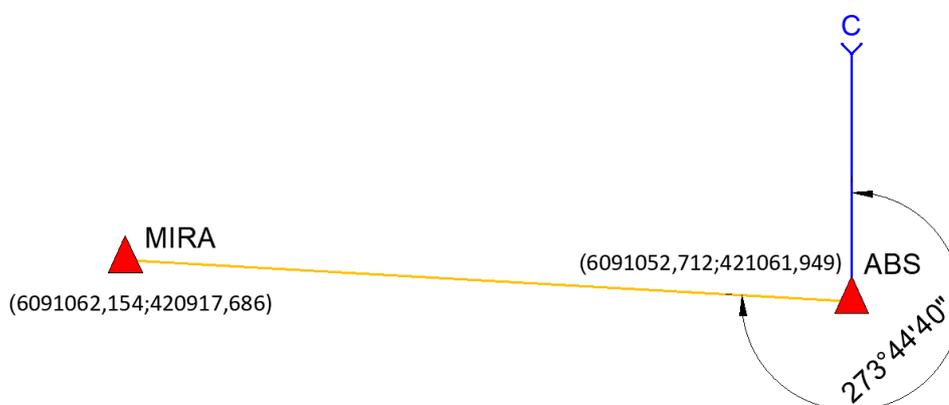


Рисунок 5.4 – Схема геомагнитного комплекса измерений геофизической обсерватории «Михнево»

В 2022 г. в рамках научного сотрудничества между ГЦ РАН и Институтом сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан (ИС АН РУз) началось развитие магнитной обсерватории «Янгибазар» (IAGA-код ТКТ). Обсерватория расположена на расстоянии около 20 км от г. Ташкента ($41^{\circ} 18' 8,1''$ СШ, $69^{\circ} 34' 52,5''$ ВД) на высоте 580 м над уровнем моря. На обсерватории имеется четыре измерительных павильона (видны на фото на рис. 5.5а). На данный момент на обсерватории ведутся нерегулярные измерения полной напряженности магнитного поля Земли магнитометром МВ-01, а также ручные

измерения на магнитометре QHM (рис. 5.5б). Векторные магнитометры в настоящее время не функционируют. Магнитометрическая аппаратура на обсерватории была до последнего момента в основном устаревшая, однако в 2021 г. Институтом сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан (ИС АН РУз) были приобретены скалярные протонные оверхаузеровские магнитометры GEM Systems GSM-19, один из которых предполагается использовать как штатный магнитометр обсерватории.



(а)



(б)

Рисунок 5.5 – Общий вид павильонов обсерватории «Янгибазар» (а): вариационные павильоны (слева на переднем и среднем плане), абсолютные павильоны (справа на переднем и среднем плане), технический павильон (на заднем плане); магнитометр QHM на постаменте в абсолютном павильоне (б).

Измерения модуля магнитного поля, выполненные на магнитной обсерватории «Янгибазар», использовались при расчёте К-индекса, позже эти данные были включены в каталог исторических значений К-индекса [Sergeyeva et al., 2020; Sergeyeva et al., 2021]. В 2021 г. в ходе научно-технического сотрудничества между Геофизическим центром РАН (ГЦ РАН) и ИС АН РУз и визита сотрудников ИС АН РУз в ГЦ РАН было принято решение об обследовании территории обсерватории «Янгибазар» с целью оценки ее пригодности для установки современного комплекса магнитометров международного стандарта и перспектив развёртывания геомагнитной обсерватории, соответствующей стандарту ИНТЕРМАГНЕТ (<http://www.intermagnet.org>).

На обсерватории «Янгибазар» располагаются 2 павильона абсолютных измерений, 2 вариационных павильона и технический павильон. Определения абсолютных значений элементов геомагнитного поля проводились согласно инструкции магнитных наблюдений, т.е. через каждые пять дней с помощью следующих магнитометров:



- горизонтальная составляющая H – на кварцевых магнитометрах QHM-31172 и QHM-31177 завода «Геологоразведка» (их постоянные $A = 43950218$, $\mu = 861 \times 10^{-7}$ и $A = 43789261$, $\mu = 826 \times 10^{-7}$ соответственно);
- вертикальная составляющая Z – на магнитных нулевых весах BMZ-191; прибор изготовлен в г. Копенгагене (Дания) и был введен в эксплуатацию в 1963 году;
- склонение D – на магнитном комбайне К-25; визирной целью (мирой) для абсолютных измерений является крест на стене технического здания №1 обсерватории.

Для оценки изменений абсолютных значений компонент D , H , Z и модуля T геомагнитного поля во временном масштабе 10 лет их среднегодовые значения были сопоставлены с соответствующими им по времени и местоположению значениями моделей главного магнитного поля Земли IGRF [Alken *et al.*, 2021] и EMM [EMM, 2022] (рис. 5.6). Видно согласованное изменение среднегодовых модельных и измеренных значений, что подтверждает, что за период 2010-2021 гг. обсерватория «Янгибазар» не подвергалась влиянию существенных помех. В случае существенных помех постоянного или квазипостоянного характера заметные отклонения от тренда на обсерваторских данных были бы видны даже в среднегодовом масштабе.

Для обследования территории обсерватории магнитометрией использовались три протонных магнитометра GEMSystems GSM-19 на эффекте Оверхаузера, два из которых использовались для пешеходной съемки. Для учета суточной вариации магнитного поля третий магнитометр GSM-19 использовался в режиме базовой магнитовариационной станции и был установлен на расстоянии ~ 50 м к востоку от абсолютного павильона 2. Время на всех магнитометрах было синхронизировано вручную, и интервал регистрации измерений полной напряженности поля для всех приборов был установлен равным 3 секундам. Площадная съемка территории, прилегающей к павильонам, производилась магнитометром GSM-19 с шагом приблизительно 10 м. Временная и координатная привязка регистрируемых данных осуществлялась с помощью портативного ГНСС-приемника Garmin Etrex 10. Результаты съемки (карта аномальной составляющей) приведены на рис. 5.7.

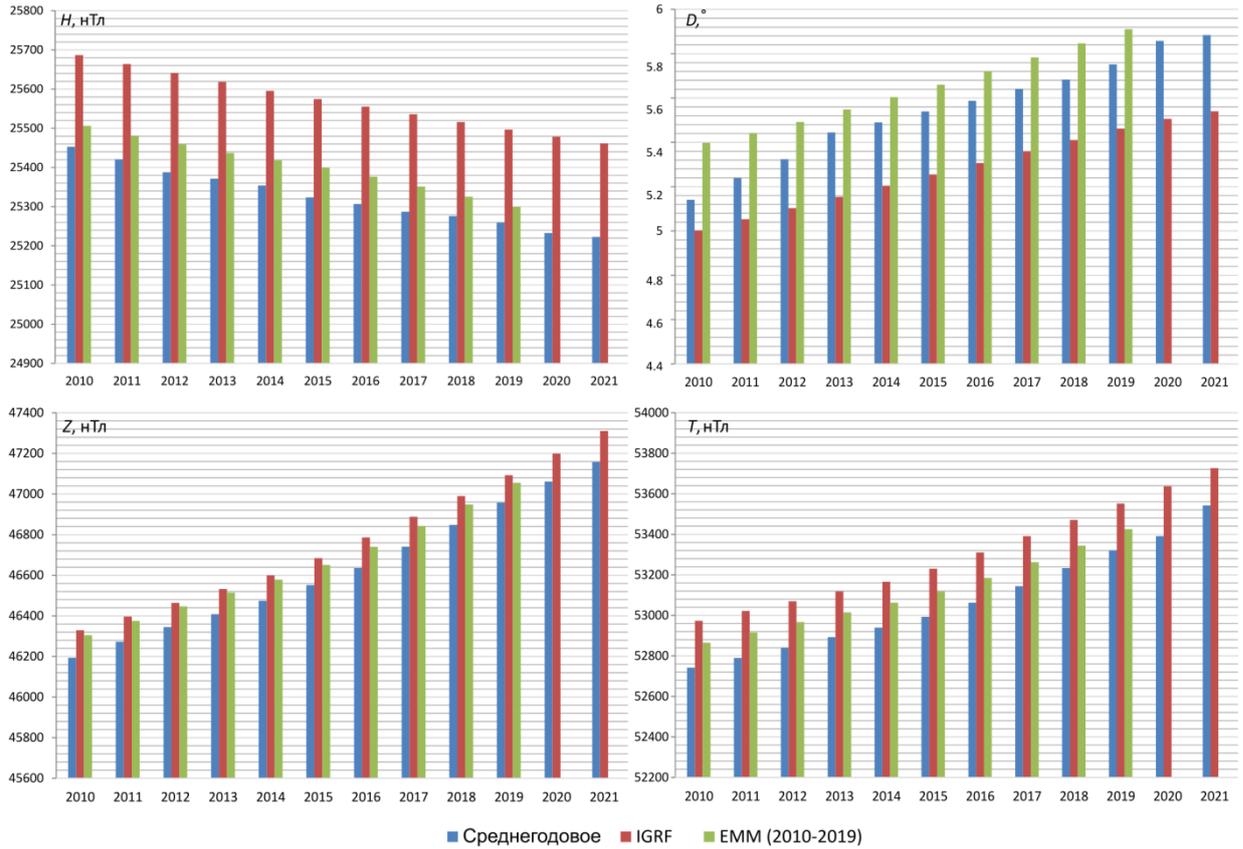


Рисунок 5.6 – Среднегодовые значения элементов магнитного поля Земли по данным магнитной обсерватории «Янгигазар» за 2010-2021 гг. в сравнении с данными моделей IGRF за 2010-2021 гг. и EMM за 2010-2019 гг.

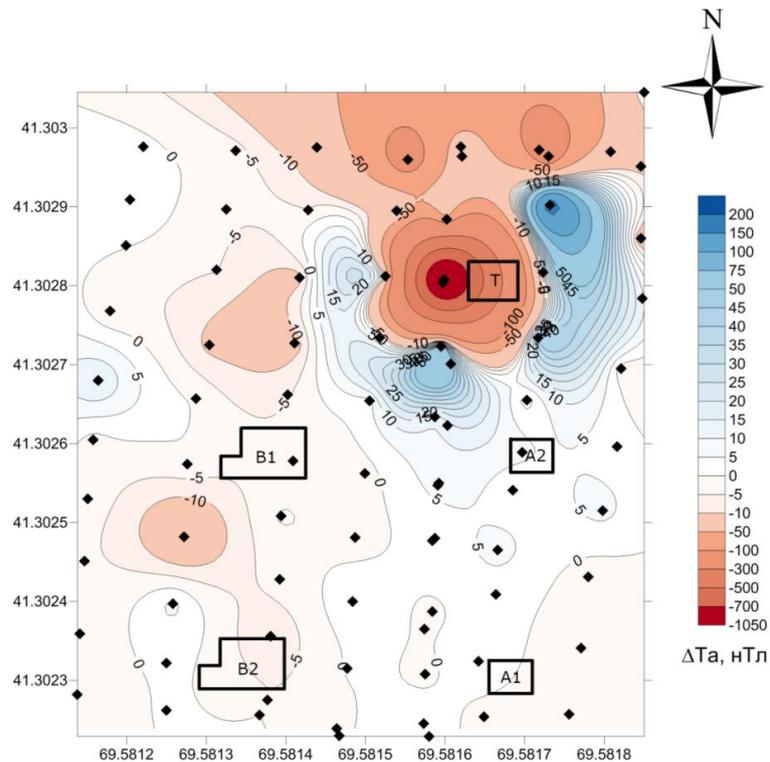


Рисунок 5.7 – Карта магнитных аномалий в окрестностях павильонов



Карта магнитных аномалий участка, прилегающего к павильонам, демонстрирует достаточно спокойный уровень аномальной составляющей в южной части участка от 0 до 5 нТл со средней величиной горизонтального градиента менее 1 нТл/м в этой области. Аномалия около - 10 нТл связана с расположенным вблизи нее павильоном. Существенной является аномалия на северо-востоке участка, очевидно, связанная с техническим павильоном, амплитуда которой превышает - 1000 нТл. Для контроля измерений был сделан ход, включавший в себя профиль, выполненный посередине участка, и часть магистрали на южном конце участка (пятый профиль на карте). Контрольные измерения в южной части участка хорошо соотносятся друг с другом и начинают существенно расходиться только при приближении к аномалии технического павильона ввиду наличия локальных высоко намагниченных источников техногенного происхождения. Исходя из анализа карт аномалий, наиболее благоприятна территория в южной части участка, где располагаются два абсолютных павильона, поскольку горизонтальный и вертикальный градиенты в месте расположения магнитной обсерватории не должны превышать 2 нТл/м, а в месте, где будут производиться абсолютные измерения магнитного поля – 1 нТл/м [Jankowsky and Sucksdorff, 1996] по абсолютной величине.

Также проводились площадные съемки в павильонах (двух абсолютных и одном вариометрическом) По их итогам выявлены аномалии, связанные, вероятно, с наличием ферромагнитного крепежа в плинтусах павильонов в том числе обрамляющих постаменты у пола, с магнитными деталями оконной рамы, с возможным наличием магнитных материалов в стене (кирпичи, цементный раствор, обрешетка для штукатурки, отделочные материалы). Горизонтальные градиенты в вариационном павильоне достигают 70 нТл/м. По итогам магнитометрического исследования территории магнитометрического обсерваторского комплекса и интерьеров измерительных павильонов сделан предварительный вывод о наибольшей пригодности к исследованию двух абсолютных павильонов в восточной части площади. Для развёртывания высокоточных магнитометрических обсерваторских наблюдений предлагается провести ряд мероприятий, направленных на переоборудование южного абсолютного павильона в вариационный, очистку территории вокруг абсолютных павильонов от возможных локальных источников магнитных возмущений и самих абсолютных павильонов от конструктивных элементов, являющихся источником магнитных возмущений. После этого следует повторить площадную съемку на трех уровнях в павильонах, из которых нужно предварительно удалить магнитометрическую аппаратуру.

С мая 2022 г. на обсерватории «Янгибазар» в непрерывном режиме работает скалярный протонный оверхаузеровский магнитометр GSM-19. На данный момент



регистрируются данные модуля магнитного поля с 1-минутной дискретизацией. Позже при дальнейшем развёртывании обсерватории «Янгибазар» планируется перейти на регистрацию данных с периодом дискретизации 3 секунды. Развертывание обсерватории внесет существенный вклад не только в изучение внутреннего магнитного поля Земли, но и в исследования внешних источников геомагнитной активности, поскольку ее расположение, как и обсерваторий «Алма-Ата» ($43^{\circ} 15' 0''$ СШ, $76^{\circ} 55' 12''$ ВД) и «Гюлагарак» ($40^{\circ} 56' 6''$ СШ, $44^{\circ} 29' 30''$ ВД), является близким по широте к кольцевому току, экваториальному электроджету и фокусу северной кольцевой токовой системы Sq. Это также внесет вклад в уточнение расчета ряда индексов геомагнитной активности.

В 2022 г. проведены масштабные работы по ремонту и благоустройству комплексной геофизической обсерватории «Климовская». В частности, был отремонтирован вариометрический павильон, построенный в 2013-2014 гг., внешняя обшивка которого пришла в негодность и потеряла свои теплоизоляционные свойства. Павильон был обшит панелями из ДСП и покрашен, также сооружено крыльцо. Также пришедший в негодность забор вокруг павильона был заменен на новую немагнитную ограду из труб ПНД и пластиковой сети. Результатом ремонта вариометрического павильона стало повышение его теплоизоляционных свойств, что благоприятно сказывается на повышении качества данных векторного магнитометра, чувствительного к перепадам температуры. Также была обновлена покраска павильона абсолютных измерений обсерватории, и вокруг него сооружена аналогичная немагнитная ограда. Наконец, в главном здании обсерватории была установлена новая система сигнализации и пожаротушения.

Подготовка годового набора данных обсерватории «Климовская» за 2021 год выявила ряд проблем, характеризующихся существенными нестабильностями базисных значений. Так, на протяжении 2021 года размах вариаций базисной линии нескорректированных относительно температуры данных составляла по $X_0 > 20$ нТл, $Y_0 > 45$ нТл, $Z_0 > 8$ нТл. Несмотря на принимаемые меры по контролю качества данных, проблемы со стабильностью данных оставались, поэтому было принято решение о командировке на обсерваторию с полным запасным комплектом датчиков и электроники. В ходе командировки была выполнена замена датчика векторного магнитометра на новый, установленный в ориентации XYZ. Работа обсерватории в последующие полгода полностью подтвердила устранение проблемы с нестабильностью базисных. На рис. 5.8 показаны графики базисных за первую (старый датчик) и вторую (новый датчик) половину 2022 года. Таким образом, с этого момента высококачественные геомагнитные данные «Климовской» соответствуют международному стандарту.

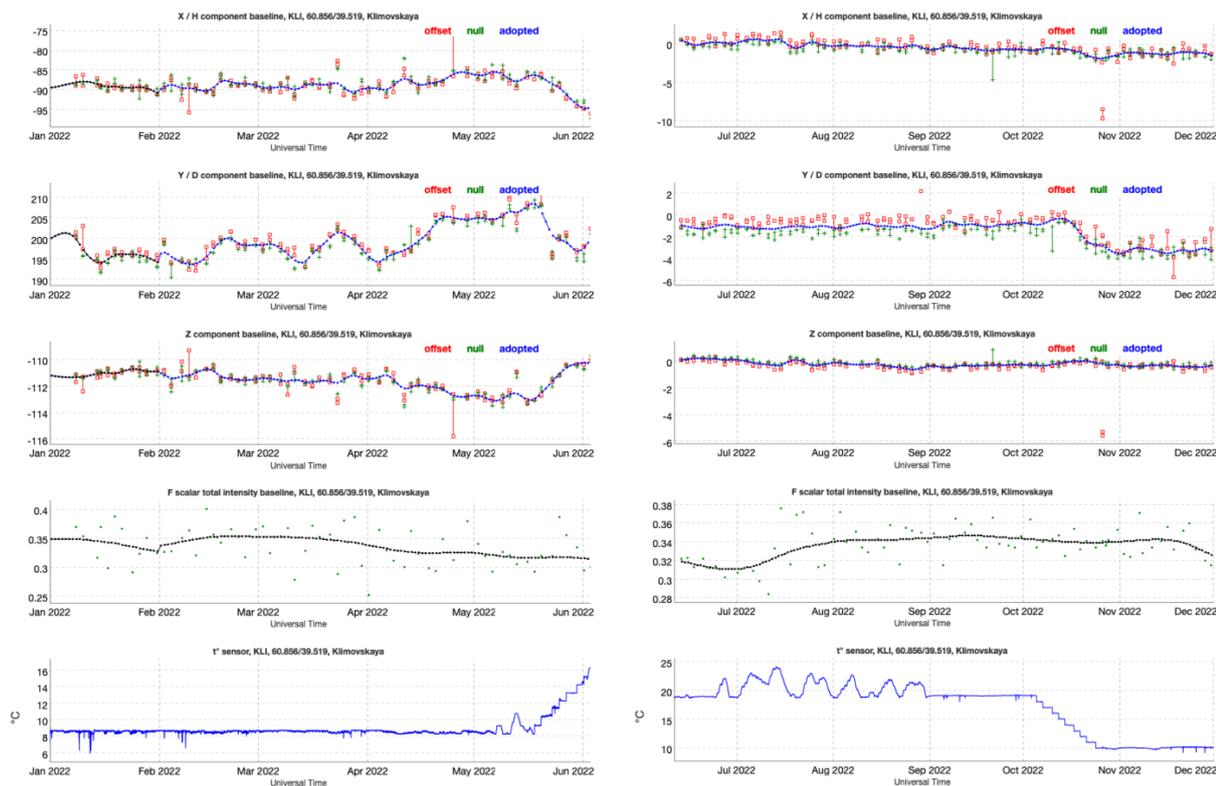


Рисунок 5.8 – Базисные линии и температура вариометра до (слева) и после (справа) замены датчика

В ходе командировки 28.03.2022 – 04.04.2022 г. на обсерваторию «Белое море» (WSE), функционирующую в респ. Карелия на территории ББС им. Н.А. Перцова Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова решена проблема сбоев в работе векторного оверхаузеровского магнитометра POS-4 (производства Лаборатории квантовой магнитометрии Уральского федерального университета). Проблема «вылетов» POS-4 проявлялась практически с самого начала установки прибора на Беломорской биологической станции МГУ. Под «вылетами» понимается полное искажение данных. Во время таких вылетов, вместе с искажением данных зашкаливал показатель QMC , разработанный производителем устройства для синхронной оценки качества данных. Этот показатель основывается на качестве сигнала прецессии (длина, соотношение сигнал-шум) и может указывать на наличие ферромагнитных предметов или электронных устройств, создающих большой магнитный градиент вблизи устройства. По предварительному предположению «вылеты» возникали из-за недостаточной изоляции системы питания магнитометра от технологической сети станции ББС. Установленный в ориентации HDZ POS-4 с августа 2022 года непрерывно пересылает данные в Аналитический центр геомагнитных данных ГЦ РАН. Стоит отметить, что показатель QMC отремонтированного ПОС-4 не превышает 12 пТл, это указывает на исключительно низкие градиенты и

отсутствие источников электромагнитного шума в месте установки прибора. В свою очередь, это можно рассматривать как благоприятный фактор при дальнейшем развёртывании обсерватории «Белое море» в полномасштабную обсерваторию, соответствующую стандартам сети ИНТЕРМАГНЕТ.

5.3 Разработка системного подхода к распознаванию геомагнитных бурь по данным индексов магнитной активности и космических лучей на основе нейронной сети

Предложен метод распознавания геомагнитных бурь, основанный на нейросетевых модельных оценках Dst-индексов; использованы наблюдения от мюонного годоскопа УРАГАН [Yashin *et al.*, 2015] и нейтронных мониторов [Белов *и др.*, 2018]. Применена свёрточная нейронная сеть. Реализовано правило принятия решений для распознавания. Сформированы оценки вероятностных характеристик распознавания геомагнитных бурь. Экспериментальное исследование метода подтвердило его эффективность. Показано, что совместные наблюдения системы годоскоп-мониторы по сравнению с отдельными наблюдениями, повышают вероятность правильного распознавания геомагнитных бурь.

Решение задачи распознавания геомагнитных бурь здесь базируется на предположении, что между наблюдениями мюонного годоскопа и нейтронного монитора с одной стороны и Dst-индексами – с другой существует функциональная связь, искажённая помехами. Тогда, очевидно, можно построить модель Dst-индексов в зависимости от мюонных и нейтронных данных на основе соответствующей нейронной сети.

Общая схема решения задачи состоит из: предварительной обработки исходных Dst-индексов (Y_D) и мюонных (X_M) и нейтронных (X_N) данных для выделения в них существенных информативных составляющих; обучения нейронной сети; вычисления моделей Dst-индексов нейронной сетью и мюонных и нейтронных данных; процедуры принятия решений для распознавания геомагнитных бурь, которая основывается на модели Dst-индексов и сравнении их с задаваемым порогом. На рис. 5.9 помещена схема вычислительных операций с обозначенными выше переменными, которая поясняет решение рассматриваемой задачи.

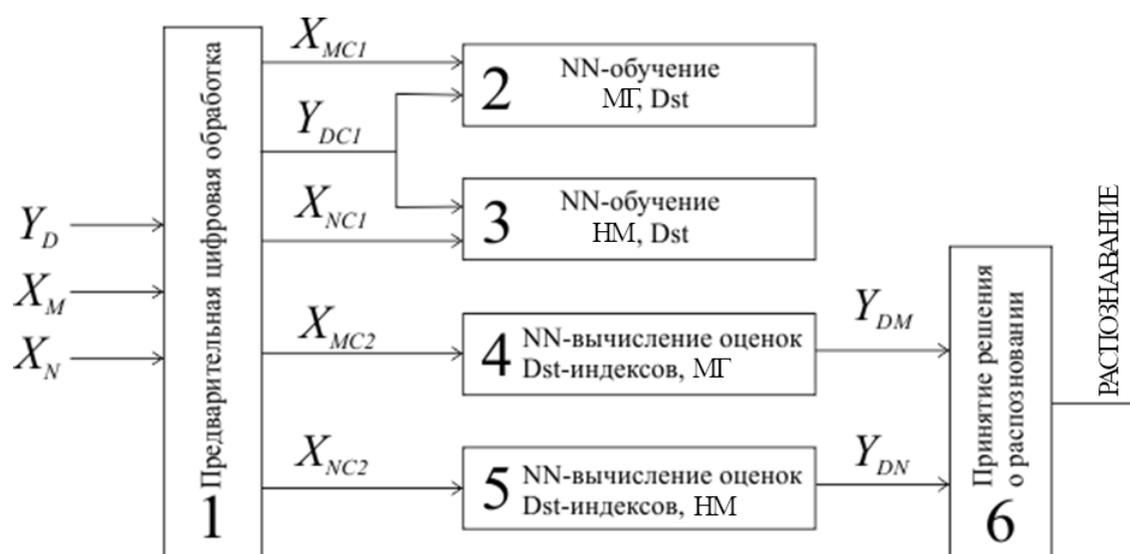


Рисунок 5.9 – Схема вычислительных операций решения задачи распознавания геомагнитных бурь

Структура используемой свёрточной нейронной сети включала 4 свёрточных слоя (CL – Convolution Layer) со входным вектором размерности Δk , со свёрточными фильтрами размерности Δk_c и функциями активации $f(x) = 1, x > 0, f(x) = 0, x \leq 0$. Выходы от CL подавались на вход суммирующего полносвязного слоя (FCL – Fully Connected Layer) с выходом размерности $\Delta k_n = 1$. Работа нейронной сети базировалась на системе «скользящих» с единичным шагом временных окон шириной Δk , согласованной со средней длительностью бури. Функционал обучения представлял собой среднюю по интервалу обучения сумму квадратов разностей моделей нейронной сети и Dst-индексов для крайних правых значений индексов «скользящих» окон. Реализовывалась минимизация введённого функционала. Полученные в результате минимизации модели, использовались для вычисления модельных оценок Dst-индексов. Метод распознавания бури основан на процедуре классификации [Бархатов и Ревунов, 2016].

Было произведено экспериментальное исследование задачи распознавания геомагнитных бурь. Выбирался четырёхмесячный интервал 2018.08.01 – 2018.11.30, расположенный вне границ интервала обучения. На рис. 5.10 показаны график Dst-индексов $Y_D(k)$ и полученные нейронной сетью графики вычисленных модельных оценок Dst-индексов $Y_{DM}(k), Y_{DN}(k)$ для $\Delta k = 48$. При заданном пороге $Y_{D0} = -50$ нТл реализовывались 5 событий, соответствующих геомагнитным бурям, которые отмечены знаком «крест в кружочке». Рассмотрение графика $Y_{DN}(k)$ с учётом порога $Y_{D01} = -(40 \div 42)$ нТл позволило установить, что реализовывалось 4 факта правильных распознаваний геомагнитных бурь, отмеченных знаком «крест в кружочке», и 0 фактов ложных распознаваний геомагнитных бурь.

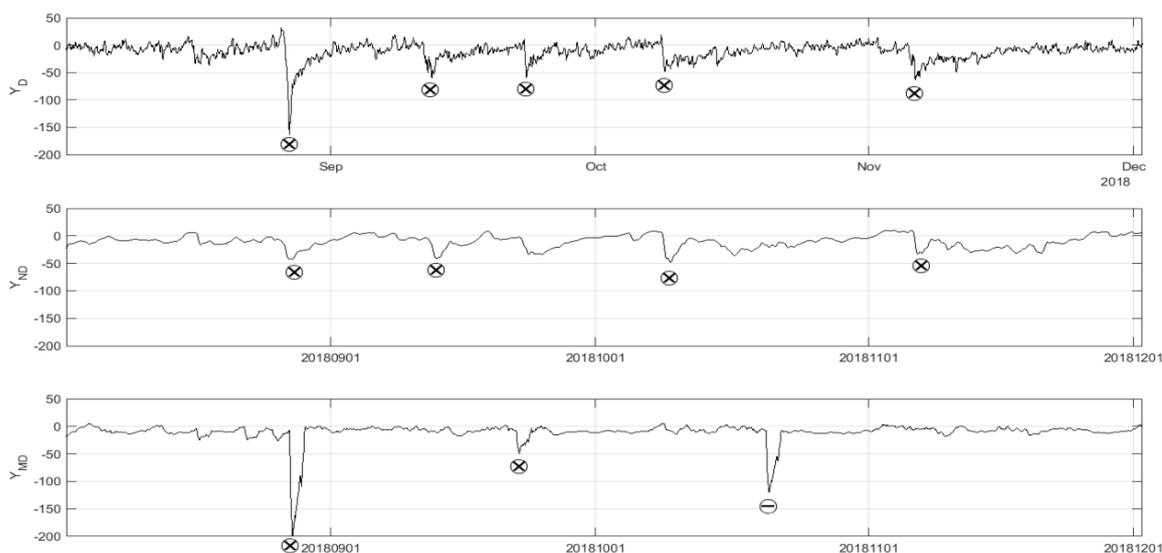


Рисунок 5.10 – Графики Dst-индексов $Y_D(k)$ и модельных оценок Dst-индексов $Y_{DM}(k)$, $Y_{DN}(k)$, интервал 2018.08.01 – 2018.11.30

Рассмотрение графика $Y_{DM}(Tk)$ с учётом порога $Y_{D02} = -(40 \div 42)$ нТл показало, что реализовывалось 2 факта правильных распознаваний геомагнитных бурь и одно ложное распознавание, отмеченное знаком «минус в кружочке».

В результате использование совместных наблюдений системы мюонных и нейтронных данных по сравнению с использованием отдельных наблюдений обеспечило повышение вероятности правильного распознавания возникновения геомагнитных бурь. Предложенный метод распознавания геомагнитных бурь имеет большие резервы для усовершенствования, в частности, дальнейшей оптимизации его параметров с целью улучшения вероятностных характеристик и его приспособления для решения задачи краткосрочного прогнозирования геомагнитных бурь путем экстраполяции данных. Предложенный метод распознавания геомагнитных бурь имеет существенный потенциал и благоприятную перспективу имеет в изучении геомагнитной активности и кодировании (каталогизации) геомагнитных бурь.

Список использованных источников

- Бархатов Н.А., Ревунов С.Е. Гелиогеофизические приложения современных методов обработки цифровых данных: монография. Нижний Новгород: Изд-во ФЛИНТА, 2017. – 316 с.
- Белов А.В., Ерошенко Е.А., Янке В.Г., Оленева В.А., Абунина М.А., Абунин А.А. Метод глобальной съемки для мировой сети нейтронных мониторов. // Геомагнетизм и аэрономия. – 2018. – Т. 58 – № 3. – С. 374–389. DOI: 10.7868/S0016794018030082
- ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. Геодезические, картографические инструкции нормы и правила. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и



GPS. М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 124 с.

Инструкция по выполнению абсолютных измерений феррозондовым деklinомером/инклинометром / Геофизический центр Российской академии наук: Краснопёров Р.И., Сидоров Р.В.; под общ. ред. Соловьёва А.А.. – ред. 2.3, ноябрь 2019 г. – М.: ГЦ РАН. – 2019 г. – 26 с.: ил.

Кафтан В.И., Красноперов Р.И. Геодезические наблюдения на геомагнитных обсерваториях // Геомагнетизм и Аэрономия. – 2015. – Т. 55. – № 1. – С. 123–129. DOI: 10.7868/S001679401501006X

Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей. – М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 1993. – 104 с.

Правила закрепления центров пунктов спутниковой геодезической сети. – М.: ЦНИИГАиК, 2001. – 30 с.

Alken P., Thébaud E., Beggan C.D., Amit H., Aubert J., Baerenzung J., Bondar T. N., Brown W. J., Califf S., Chambodut A., Chulliat A., Cox G. A., Finlay C. C., Fournier A., Gillet N., Grayver A., Hammer M. D., Holschneider M., Huder L., Hulot G., Jager T., Kloss C., Korte M., Kuang W., Kuvshinov A., Langlais B., Léger J.-M., Lesur V., Livermore P.W., Lowes F.J., Macmillan S., Magnes W., Manda M., Marsal S., Matzka J., Metman M.C., Minami T., Morschhauser A., Mound J. E., Nair M., Nakano S., Olsen N., Pavón-Carrasco F.J., Petrov V.G., Ropp G., Rother M., Sabaka T.J., Sanchez S., Saturnino D., Schnepf N.R., Shen X., Stolle C., Tangborn A., Tøffner-Clausen L., Toh H., Torta J.M., Varner J., Vervelidou F., Vigneron P., Wardinski I., Wicht J., Woods A., Yang Y., Zeren Z., Zhou B. International Geomagnetic Reference Field: the thirteenth generation // Earth Planets Space. – 2021. – Vol. 73. – Art. No. 49. DOI: 10.1186/s40623-020-01288-x.

Enhanced Magnetic Model (EMM) – URL: <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/EMM/> (дата обращения: 27.11.2022).

Jankowski J., Sucksdorff C. Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice. – Warsaw: IAGA, 1996. – 238 p.

Karinen A., Mursula K. Correcting the Dst index: Consequences for absolute level and correlations // Journal of Geophysical Research. – 2006. – Vol. 111. – Art. No. A08207. DOI: 10.1029/2005JA011299.

Sergeyeva N., Gvishiani A., Soloviev A., Zabarinskaya L., Krylova T., Nisilevich M., Krasnoperov R. (2021a): Historical K index values from observatory TKT (Tashkent (Yangi Bazar)), 1957-1991 // PANGAEA, 2021. DOI: 10.1594/PANGAEA.929056

Sergeyeva N., Gvishiani A., Soloviev A., Zabarinskaya L., Krylova T., Nisilevich M., Krasnoperov R. Historical K index data collection of Soviet magnetic observatories, 1957–1992 // Earth System Science Data. – 2020. – Vol. 13. – P. 1987–1999. DOI: 10.5194/essd-13-1987-2021.

Yashin I.I., Astapov I.I., Barbashina N.S., Borog V.V., Dmitrieva A.N., Kokoulin R.P., Kompaniets K.G., Petrukhin A.A., Shutenko V.V., Yakovleva E.I. Real-time data of muon hodoscope URAGAN // Advances in Space Research. – 2015. – Vol. 56. – No. 12. – P.2693–2705. DOI: 10.1016/j.asr.2015.06.003



6 Исследование устойчивости породных массивов на основе системного анализа геодинамических процессов для геоэкологически безопасной подземной изоляции радиоактивных отходов

Грант РФФИ № 18-17-00241-П

Регистрационный №: 122052300071-5

Руководитель: акад. А.Д. Гвишиани

Ответственные исполнители: к. ф-м-н-н. Б.А. Дзедобоев, д.т.н. В.И. Кафтан,
д.т.н. В.Н. Татарин

В 2022 г. исследования были направлены на решение следующих задач:

- Получение новых экспериментальных данных о современной геодинамике Нижне-Канского массива на основе ГНСС-наблюдений, численного моделирования напряженно-деформированного состояния и анализа геолого-геофизических данных.
- Системно-аналитическое обобщение результатов и построение геодинамической модели современного напряженно-деформированного состояния южной части Енисейского кряжа, а также оценка тенденций его геодинамической эволюции.

В августе 2022 г. была организована экспедиция на Нижне-Канский геодинамический полигон (Красноярский край) для проведения ГНСС-наблюдений за современными движениями земной коры (СДЗК) и экспериментальной проверки методики контроля точности аппаратуры. Это была 4-я эпоха наблюдений, проведенная в рамках проекта РФФИ, и десятая – с момента создания геодинамического полигона.

Спутниковая геодезическая сеть (рис. 6.1) состояла из 39 ГНСС-пунктов, из них: 6 скальных, остальные скважинного типа. Для полевых измерений использовались 8 комплектов ГНСС-приемников и антенн: Topcon Hiper SR – 3 шт.; Javad Delta 3N с антеннами JAVGRANT-G3T – 2 шт.; Javad Delta 3N с антенной ГА152ГНСС – 1 шт.; PrinCe i50 – 2 шт.

По временным рядам изменения координат ГНСС-пунктов за период с 2012 по 2021 гг. были рассчитаны величины растяжения-сжатия по главным осям деформации конечных элементов и построены карты скоростей деформации (дилатации), деформации полного сдвига и скорости углового вращения конечных элементов сети. Точность определения горизонтальных движений составила в плане ~ 1,3-2,5 мм, по высоте ~ 2,5 мм. На основе нейросетевого подхода они были экстраполированы на всю территорию и построены кинематические и деформационные модели. По ним проведена оценка точности и степени подвижности верхней части земной коры, как ключевого фактора,



определяющего процессы разуплотнения массива горных пород на участке захоронения высокоактивных РАО.

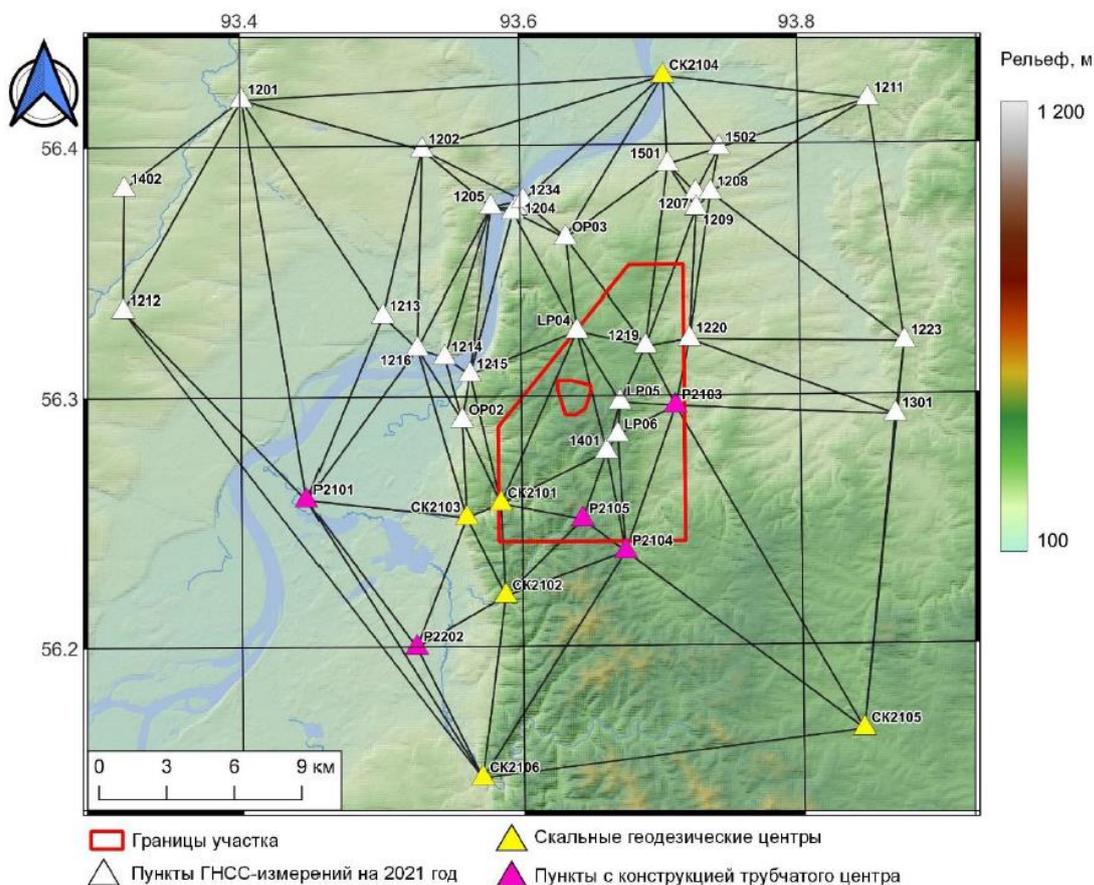


Рисунок 6.1 – Схема ГНСС-пунктов, участвующих в измерениях на геодинамическом полигоне Нижне-Канского массива, 2022 г.

Выполнена экспериментальная проверка разработанной методики полевого контроля точности ГНСС-аппаратуры для различных типов ГНСС-приемников и антенн (рис. 6.2). Контролю были подвергнуты 6 комплектов ГНСС-аппаратуры, применяемых в полевых кампаниях ГНСС-наблюдений на геодинамическом полигоне Нижне-Канского массива в период выполнения проекта с 2018 по 2022 гг. В 2022 г. контролю были подвергнуты 6 комплектов ГНСС-аппаратуры, применяемых в полевых кампаниях регулярных наблюдений на геодинамическом полигоне в 2020-2022 гг.: Javad Delta 3N 02757 GA152GNSS; Javad Delta 3N 04305 GrAnt-G3T 06458; Topcon 14855; Topcon 13775; Prince i50 3395903; Javad Delta 3N 04304 GrAnt-G3T 0673.



Рисунок 6.2 – Схема измерений базовой линии эксперимента на берегу р. Енисей

Методика продемонстрировала свою эффективность, выявив некорректные паспортные характеристики одной из антенн (табл. 6.1). Следует подчеркнуть, что ошибка не могла быть выявлена в результатах полевых измерений, т. к. точность определения высотной компоненты для базовых линий длиной от первых до десятков километров составляет 1-2 см, т. е. близка к ошибке паспортного значения высоты фазового центра. По предварительным оценкам с полученной точностью можно добиться результатов деформационного анализа с величиной СКО не более 10^{-7} .

Таблица 6.1 – Результаты контроля ГНСС аппаратуры с учетом возможной ошибки паспортных характеристик антенны JAV_GRANT_G3T+G №06458

Вероятнейшие значения	Компонента dE (мм)		Компонента dN (мм)		Компонента dU (мм)	
	δE	$m_{\delta E}$	δN	$m_{\delta N}$	δU	$m_{\delta U}$
1	2	3	4	5	6	7
x_1	0,1	2,2	-1,9	1,3	-1,6	2,1
x_2	1,7	2,6	1,9	1,5	-2,0	2,6
x_3	-1,4	2,5	-0,4	1,4	5,4	2,3
x_4	-0,3	2,5	0,1	1,4	-2,8	2,4
x_5	-0,3	2,4	0,3	1,4	1,1	2,3
x_6	0,1	2,4	0,0	1,3	-0,1	2,4

Выполнено системное обобщение всего массива информации: данных инструментальных наблюдений, карт деформационного анализа, численных моделей напряженно-деформированного состояния (НДС) и схем распределения динамических и



показателей (геоморфологических, геофизических и др. геопространственных данных) и интегрального.

Установлено, что крупные тектонические нарушения, образующие иерархическую блоковую структуру в районе, определяют пространственно-временные особенности взаимодействия блоков, их НДС и кинематику. Участок «Енисейский» пересекают ряд разрывов более низкого ранга Шумихинский, Безымянный и др. Средняя ширина зон динамического влияния разломов оценивается в 0,7-1,3 км за исключением Приенисейского, где она достигает 7 км (согласно зависимостям Г.Г. Кочаряна и С.И. Шермана), захватывая участок строительства ПИЛ. Район в геодинамическом плане стабилен, максимальные скорости деформаций по модулю не превышают 5×10^{-7} в год, а с учетом временного масштабного эффекта эти значения в длительной перспективе должны уменьшаться на порядок. По кинематическим характеристикам район делится на 13 крупных структурных блока, границами которых в большинстве случаев служат крупные тектонические разломы.

Блоки VI, VIII, IX, X, XI, ограниченные Канско-Атамановским (с севера) и Муратовским (с запада) разломами, имеют скорости горизонтальных СДЗК около 3,5 мм/год. В крыльях Правобережного разлома блоковые сдвиговые движения создают «уступовидную» структуру. По контакту блоков VIII и IX получены максимальные градиенты горизонтальных движений. Граница смены направлений движений, с субширотного на субмеридиональное совпадает с Шумихинским разломом. Этот участок находится на расстоянии 2-3 км от зоны контакта Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты и испытывает его влияние.

Выполнено сравнение расположения гравитационных и магнитных аномалий и тектонических разломов. По итогам анализа построена карта обобщенной интегральной меры геодинамической безопасности, которая ранжирует территорию на участки: безопасные нейтральные или переходные, неустойчивые (рис. 6.3). Последние занимают площадь около 21 км². Это преимущественно области сочленения тектонических структур и участки высоких градиентов рельефа, четко выраженные в аномальных значениях мер активности динамических показателей. По отношению ко всей площади исследований они занимают около 9,1 %. Участок «Енисейский» располагается в интервале значений интегральной меры геодинамической безопасности 0,48-0,52.

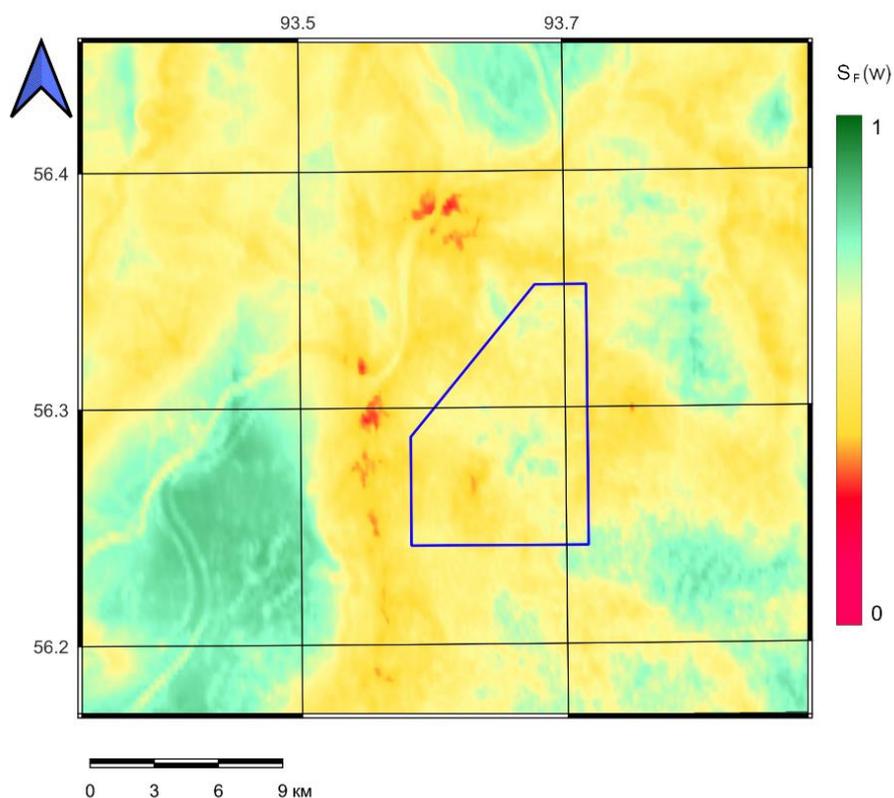


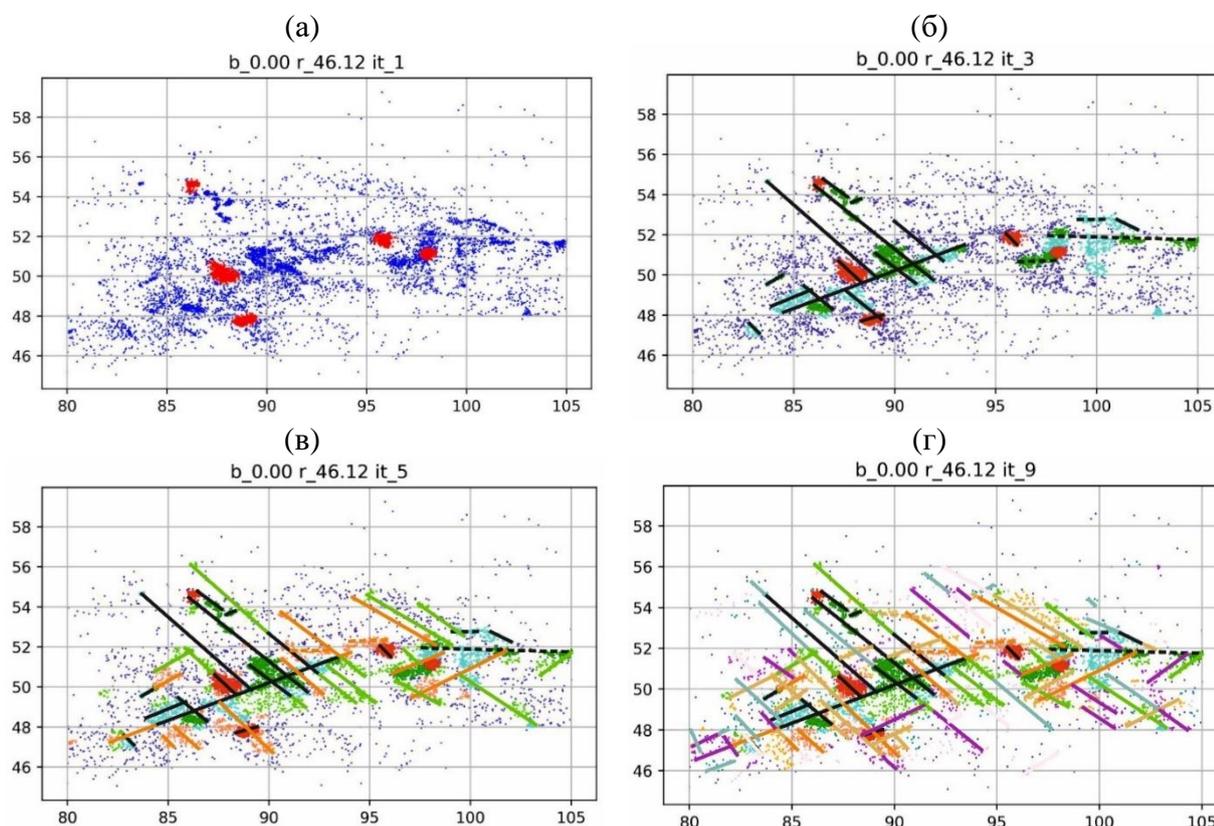
Рисунок 6.3 – Итоговая интегральная мера геодинамической безопасности по всем используемым нами признакам (2022 г.)

Проведено тестирование нового алгоритма для выделения в многомерном массиве геопространственных данных (геофизические поля, геохимия, космические снимки, рельеф, карты современных движений, данные сейсмологического мониторинга и др.) линейно вытянутых скрытых структур. Они представляют наибольшую опасность для сохранности изоляционных свойств пород, т.к. могут быть потенциальными зонами ВОЗ или опасных деформаций. Был модифицирован алгоритм LDPS, продолжающий DPS-серии алгоритмов ДМА-кластерного анализа.

Итерационным вариантом алгоритма SDPS – SDPSⁱ проанализирован каталог АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск, РАН Алтае-Саянского региона, объединенного с каталогом локальной сети НО «РАО». Каталог включает 11 520 событий. Алгоритм работает более эффективно, чем алгоритм SDPS, т.к. итерационная схема позволяет последовательно высекать из исходного массива событий все более слабые, но, тем не менее, важные для анализа сгущения. Выполненные последовательно 9 итераций анализа позволили выделить в массиве событий близкие к линейным зоны сгущений сейсмических событий северо-западного и северо-восточного направлений, которые теоретически могут быть зонами активных тектонических разломов. Предположительно северо-западное и северо-восточное направления являются доминантными, а субширотное – второстепенным или субширотное линейное нарушение в восточной части. Уровень экстремальности β

разделяет наше множество $SDPS^i$ на два непересекающихся подмножества – плотное $SDPS$ и менее плотное.

Итерационный $SDPS = SDPS^i(r, \beta)$, r -плотное множество $SDPS$ на рис. 6.4 отмечено красным, $SDPS^i(r) < \beta$ отмечено синим. В нашем случае $i = 9$, а конкретные для i -той итерации параметры r и β показаны на рисунках (вверху).



**Рисунок 6.4 – Примеры анализа данных алгоритмом $SDPS^i$:
(а) – первая итерация; (б) – третья; (в) – пятая; (г) – девятая**

Направления первых линейных зон в общем массиве сейсмических событий, которые связаны с геодинамическими зонами, нарушений удалось выделить, начиная с третьей итерации. Предположительно северо-западное и северо-восточное направления являются доминантными, а субширотное – второстепенным или субширотное линейное нарушение в восточной части.

Создан и опубликован открытый набор данных «Напряженно-деформированное состояние участка "Енисейский" и прилегающих территорий», размещенный в универсальном репозитории с открытым доступом, разработанным в рамках европейской программы OpenAIRE под управлением ЦЕРН. База данных размещена по адресу: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6560841>.



Результаты исследований, полученные при выполнении проекта за период 2018 по 2022 гг., представлены в виде геодинамической модели современного напряженно-деформированного состояния Южной части Енисейского кряжа.

Геодинамическая модель интегрировала в себя результаты: изучения современных движений, деформационного анализа, моделирования напряжений и интерпретации геолого-геофизических данных. На основе данных ГНСС-наблюдений выявлены аномальные (опасные) участки и закономерности распределения полей напряжений и деформаций и с использованием алгоритмов ДМА выполнено геодинамическое районирование территории. Установлена взаимосвязь между аномальными значениями скоростей деформаций, высокоградиентными зонами интенсивности напряжений и иерархической тектонической нарушенностью района. Изучен сложный спектр тектонических движений, неравномерно распределенных в дискретно-блочной среде. Подтверждено фундаментальное представление о том, что массивы горных пород даже в стабильных областях находятся в непрерывном процессе деформирования.

Оценен тип кинематических смещений. Зоны дилатации сжатия со значениями $1,6 \cdot 10^{-6}$ в узле пересечения Правобережного и Канско-Атамановского разломов в северо-восточной части района и зона дилатации растяжения $8 \cdot 10^{-6}$ на западе оказались связанными с зонами наибольших деформаций сдвига. Это говорит о сдвиговом характере движений по Правобережному разлому (левосторонний сдвиг).

Для пространственной оценки степени механического разуплотнения массива в пределах активных блочных структур предложена новая характеристика – дефицит накопленных горизонтальных смещений пунктов ГНСС-сети. Чем больше величина накопленных смещений, тем больше степень структурной нарушенности или раскрытия пористости пород.

Анализ карт деформационного анализа позволил получить следующие пространственно-временные особенности скоростей деформаций как инвариантного от системы координат показателя, характеризующего проявления глубинных геодинамических процессов на земной поверхности.

1. За период с 2012 по 2021 гг. значения дилатации не превышали по модулю величин $1,6 \div 8 \times 10^{-5}$. Сама площадка строительства ПИЛ находится в зоне минимальных скоростей деформаций, но на границе растягивающих и сжимающих деформаций.
2. Характер изменения положения зон максимального сжатия и растяжения, связанных с глубинной геодинамикой верхней части земной коры, носил циклический



- характер. Например, в эпоху 2012-2014 гг. зона растягивающих деформаций, зарегистрированная в западной части в эпоху 2012-2013 гг. (рис. 6.5а), исчезла, но появилась новая – на востоке (рис. 6.5б). В 2015 гг. общая картина распределения зон сжатия и растяжения фактически вернулась к эпохе 2012-2013 гг. (рис. 6.5в).
3. Далее, в 2016 г. (рис. 6.5г) характер распределения поля дилатации с незначительными отличиями повторяет эпоху 2012-2014 гг. (рис. 6.5б), т. е. продолжительность цикла режима сжатие-растяжение составило приблизительно 2 года.
 4. Через четыре года – в 2020 и 2021 гг. вид распределения поля дилатации слегка изменился (рис. 6.5 д, е), но, в целом, остался близок к эпохе 2012-2013 гг. При этом зоны максимальных отрицательных дилатаций практически не изменяют положения, что говорит об их природном характере.

Пространственное распределение участков максимальных деформаций дилатации и полного сдвига свидетельствуют о современной тектонической активности Муратовского, Атамановского, Канско-Атамановского, Правобережного и частично Шумихинского разломов. Движения в центральной и северной части зоны контакта Западно-Сибирской плиты и Сибирской платформы в районе сочленения с разломом № 10 меняют направления с субширотного на субмеридиональное, что свидетельствует об их сдвиговом характере по Муратовскому и Атамановскому разломам.

Особенности тенденций геодинамической эволюции района следующие. Контрастно выделяется Атамановский отрог Енисейского кряжа, где отмечаются растягивающие деформации земной поверхности, свидетельствующие о современных положительных вертикальных движениях. Зона контакта Западно-Сибирской плиты и Сибирской платформы также четко выделяется по направленности современных горизонтальных движений и осей деформаций. Это хорошо видно и на картах дилатации и деформации полного сдвига. Зоны, которые отличаются по своим деформационным параметрам и направлениям осей сжатия и растяжения, ориентированы в субмеридиональном направлении и «чередуются» в увязке с границами блоков и простираением основных разломов в районе исследования.

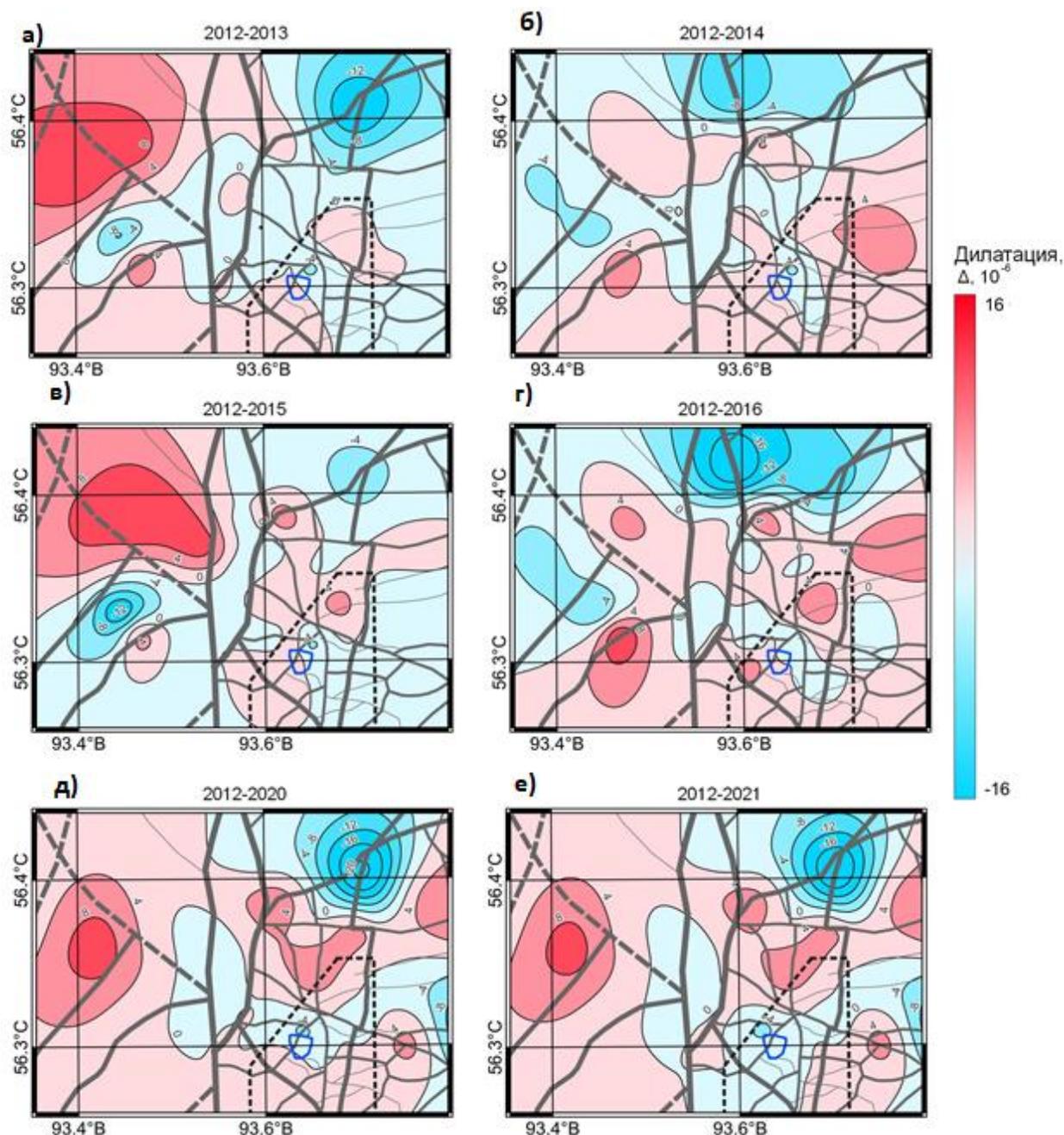


Рисунок 6.5 – Динамика изменения дилатации по эпохам наблюдений. Красный цвет – поверхностное растяжение, синий – поверхностное сжатие

Вероятно, наиболее масштабными для процесса геодинамической эволюции данного района являются движения по зоне контакта, сдвигового или надвигового характера и положительные вертикальные движения в районе Атамановского отрога Енисейского кряжа. По кинематическим характеристикам положение участка «Енисейский» характеризуется следующим:

- во-первых, на западной и южной его границах располагаются зоны, где получены максимальные значения дилатации расширения (подъем земной поверхности) и максимальные сдвиговые деформации;



- во-вторых, сам участок «Енисейский» и площадка ПГЗРО находятся в условиях действия сжимающих сил, оси деформаций сжатия ориентированы с северо-востока на юго-запад. Но при этом юго-западная часть отличается по своим кинематическим характеристикам от остальной части и находится в зоне относительного растяжения;
- в-третьих, возможно силовое воздействие на структурный блок, вмещающий ПГЗРО, как со стороны блоков, находящихся к восточным крыльям Муратовского и Атамановского разломов, так и со стороны боков, граничащих с Правобережным и Большетельским разломами.

Геодинамическая модель, построенная в рамках выполнения данного проекта РНФ, нашла практическое применение. На ее основе разработан проект строительства профилей высокоточного нивелирования в районе ПИЛ. Рекомендации были реализованы в 2022 г., заложены профили № 2 и № 3 нивелирования 1-го класса точности.

В 2022 году в рамках выполнения проекта опубликованы 4 статьи.

1. *A.D. Gvishiani, V.N. Tatarinov, A.I. Manevich, V.I. Kaftan.* Geodynamic interpretation of modern geodynamic movements in the Southern part of the Yenisei ridge (in application to the problem of underground isolation of radioactive waste) // Eurasian Mining. 2021. №2. Pp.7-11. DOI: 10.17580/em.2021.02.02 **Scopus: SJR (2020) – 1,07, Q1.**
2. *Agayan S., Bogoutdinov S., Kamaev D., Kaftan V., Osipov M., Tatarinov V.* Theoretical framework for determination of linear structures in multidimensional geodynamic data arrays // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. Iss. 24:11606. DOI: 10.3390/app112411606. **Scopus: SJR (2020) – 0,44, Q2.**
3. *Гвишиани А.Д., Агаян С.М., Лосев И.В., Татаринов В.Н.* Методика оценки геодинамической опасности структурного блока, вмещающего объект подземной изоляции РАО // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 12. С. 5-18. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_12_0_5. **Scopus: SJR (2020) – 0,33, Q2.**
4. *Kolesnikov I.Yu., Tatarinov V.N., Tatarinova T.A.* Deformation transverse shear bending state of a thin plate layer of an anisotropic geological medium from the action of concentrated energy impulses // Environment. Technology. Resources. Rezekne, Latvia Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference. 2021. Vol. 1. p. 117-121. DOI: 10.17770/etr2021vol1.6510. **Scopus, Q.**



7 Системный анализ влияния астрономической цикличности на процессы осадконакопления Паратетиса

Грант РФФИ №: 19-77-10075

Регистрационный №: АААА-А19-119082190032-6

Руководитель: к.г.-м.н. А.И. Рыбкина

7.1 Проведение палеомагнитных и магнитоминералогических исследований

Проведенные палеомагнитные и магнитоминералогические исследования за предшествующие два этапа выполнения проекта показали, что крайне важным вопросом магнитостратиграфии Керченско-Таманского региона остается доказательство первичности или вторичности палеомагнитного сигнала. В связи с тем, что изученных интервалов разрезов Таманского полуострова в явной мере недостаточно для вывода о перемагничивании отложений миоцена, в ходе текущего этапа Проекта было проведено расширение палеомагнитного апробирования и изучения разрезов посредством выполнения детального отбора коллекций.

7.1.1 Отбор новых коллекций из отложений миоценовых разрезов Попов Камень и Панагия и результаты лабораторных исследований

Отбор палеомагнитной коллекции образцов

В ходе полевых работ в предыдущие этапы работ на разрезах Попов Камень и Панагия была отобрана представительная коллекция образцов, состоящая из 227 штучков. Штучки отбирались с шагом 0,1-2 метра из предварительно зачищенных стенок разреза и ориентировались в пространстве с помощью горного компаса. Для палеомагнитных исследований изготавливалось по два-три образца-дубля из каждого ориентированного штучка. На разрезе Попов Камень отобрано 146 штучков (81 м с перерывом ~8 м.), на разрезе Панагия – 81 штучок (51 м). Разрезы Попов Камень и Панагия представляют собой два крыла одной синклинали и имеют перекрывающиеся по возрасту интервалы мощностью ~51 м, что позволяет выполнить палеомагнитный тест складки и оценить относительный возраст (до или послескладчатый) естественной остаточной намагниченности.

Анализ результатов магнито-минералогических и палеомагнитных исследований

В ходе выполнения проекта был выполнен большой комплекс магнито-минералогических и палеомагнитных исследований образцов, что позволило сделать следующие основные выводы:



1. Результаты теста Лоури [Lowrie, 1990] позволяют предположить наличие в отложениях разрезов Попов Камень и Панагия двух низкокоэрцитивных магнитных минералов с различными температурами деблокирования: 200-350 °С и 580-600 °С, вероятно, соответствующих магнитным сульфидам железа (грейгиту и/или моноклинному пирротину) и магнетиту (или подобному минералу).
2. Выделены два магнито-минералогических типа образцов в соответствии с вкладом магнитных сульфидов железа и магнетита в изотермическую остаточную намагниченность. Однако оба магнитных минерала присутствуют в двух магнито-минералогических типах. Корреляции между магнито-минералогическими типами в двух разрезах не прослеживается. Не наблюдается закономерности между интервалами прямой и обратной полярности с выделенными магнито-минералогическими типами по результатам теста Лоури.
3. Результаты изучения коэрцитивных спектров отобранных образцов свидетельствуют о наличии нескольких магнито-минералогических фаз с различной коэрцитивной силой.
4. Выявлен трёхкомпонентный состав намагниченности. Вязкая компонента *A* выделяется в интервале низких полей и температур, ее направление, в целом, согласуется с направлением современного магнитного поля в районе работ.
5. Компонента *B* выделяется как промежуточная компонента между *A* и *C*, так и как характеристическая компонента, идущая в начало координат на диаграммах Зийдерверльда на подавляющем большинстве образцов, отобранных на разрезах Попов Камень и Панагия. Для компоненты *B* характерны умеренные положительные наклонения и северо-северо-восточные и восточные склонения в стратиграфической системе координат. Кучность направлений компоненты *B* выше в географической системе координат, чем в стратиграфической, параметр *DC* [Enkin, 2003] близок к нулевым значениям при рассмотрении направлений на уровне штуфов и образцов, размагниченных как переменным полем, так и температурой. Согласно значениям параметра *DC* тест складки отрицательный, что указывает на то, что породы приобрели естественную остаточную намагниченность после складкообразования, вероятно, вследствие вторичных преобразований магнитных минералов.
6. Компонента *C* выделяется на некоторых уровнях разрезов Попов Камень и Панагия и имеет умеренные отрицательные наклонения и южные склонения в стратиграфической системе координат. Тест складки по направлениям компоненты *C* положительный, намагниченность доскладчатая, а перемагничивание пород



разрезов Попов Камень и Панагия носит интервальный характер и не затрагивает стратиграфические уровни, демонстрирующие обратную полярность.

В заключение отметим, что особая сложность палеомагнитных исследований таких разрезов состоит в близости направлений современного геомагнитного поля и предполагаемого древнего поля. Это в совокупности с северным азимутом падения толщ (как, например, на разрезе Панагия) и отборе только одного крыла складки приводит в большинстве случаев к невозможности оценить возраст естественной остаточной намагниченности, что ставит под сомнение и результаты таких исследований.

Палеомагнитные исследования разрезов Попов Камень и Панагия и Коп-Такыл, ранее выполненные в ходе проекта и опубликованные [Pilipenko et al., 2021] впервые показали перемагничивание отложений миоцена Таманского п-ова и Крыма.

7.1.2 Результаты магнито-минералогических и палеомагнитных исследований разреза Скеля

Анализ результатов магнито-минералогических и палеомагнитных исследований по разрезу Скеля (тарханские отложения, Керченский полуостров) позволил сформулировать следующие основные выводы:

1. Согласно изучению гистерезисных параметров, определено, что основными магнитными минералами являются низкокоэрцитивные минералы. При этом, анализ коэрцитивных спектров позволил сделать вывод о наличии как минимум трех-четырёх фаз различной коэрцитивности. Согласно результатам теста Лоури выделены два магнитных минерала, по температурам деблокирования соответствующие титаномагнетиту (или подобному минералу) и грейгиту (моноклинному пирротину). В маломощных слоях 1 и 2 имеют место несколько ферримагнитных минералов-носителей ЕОН: титаномагнетит и сульфид железа: моноклинный пирротин и/или грейгит. Низкие величины гранулометрических отношений ИОН к магнитной восприимчивости и безгистерезисной остаточной намагниченности к магнитной восприимчивости в слоях 1 и 2 и нижней части слоя 3, говорят о наличии крупной фракции, что свидетельствует о близости источников сноса.
2. Результаты исследования анизотропии магнитной восприимчивости показали, что в географической системе координат направления минимальной оси эллипсоида магнитной восприимчивости имеют западные склонения и располагаются по одну сторону от оси складки (азимут складки $\sim 45^\circ$). В стратиграфической системе координат минимальная ось эллипсоида анизотропии направлена вертикально, что



- отвечает картине осадконакопления в спокойных условиях и о сохранении первичной формы магнитных минералов в условиях складкообразования.
3. Компонентный анализ естественной остаточной намагниченности, выполненный по результатам размагничивания переменным полем позволили выделить две компоненты – вязкой и идущей в ноль компоненты, направление которой принимается за характеристическое.
 4. Пересчет величин угловых компонент характеристической намагниченности на координаты виртуального геомагнитного полюса и исключение из рассмотрения единичных точек обратной полярности, показали: что самый верх слоя 1 можно отнести к горизонту обратной полярности; слой 2 и слой 3 – можно отнести к горизонту прямой полярности; слой 4 несёт запись геомагнитного поля обратной полярности.
 5. Палеомагнитный тест складки направлений намагниченности, записанных в породах аргунских отложений (слои 3+4, верхний тархан) в модификации Енкина [Enkin, 2003] при максимальной кучности дал положительный результат (распрямления складки $78,3 \pm 50,1\%$), что свидетельствует о доскладчатом возрасте образования намагниченности.
 6. Тарханский региоярус Паратетиса подразделяется на три региоподъяруса: нижний (кувинские слои), стредний (терские слои – «тарханский мергель») и верхний (аргунские слои). Обрато намагниченные породы в изученной части разреза Склея лежат сразу под тарханским мергелем в верхней части кувинских слоёв, а также захватывают целиком слой 4 аргунских отложений. Породы слоя 3 аргунских отложений намагничены прямо. Согласно [Palcu et al., 2019] тарханский региоярус располагается в средней части среднего миоцена, соответствует лангию Средиземноморья и локализуется в пределах хрона C5Bn. Если не принимать во внимание единичную точку неопределенной полярности в терских слоях, то интервал прямой полярности, приходящийся на слои 2 и 3, можно сопоставить с хроном C5Bn. Слой 4, в верхней части аргунских отложений, характеризующийся обратной полярностью, можно сопоставить с C5ADr. Предположительно, возраст границы C5Bn/C5ADr по магнитохронологической шкале GTS 2020 можно оценить как ~ 14,7 млн. лет [Gradstein et al., 2020].



7.2 Проведение полевых работ

Полевые работы в районах развития как относительно глубоководных отложений миоцена Восточного Паратетиса (Керченский и Таманский полуострова), так и мелководных их возрастных аналогов (Предкавказье, Грузия и др.) в целях расширения региональных сопоставлений данных по циклостратиграфии с опубликованием результатов. В том числе, отбор контрольных коллекций ориентированных образцов из пород сармата на разрезах Попов Камень и Панагия, а также изучение отложений среднего и верхнего миоцена на разрезах Восточной Грузии (разрезы Удабно и Надарбазеви).

На Таманском полуострове в продолжение полевых работ предыдущих этапов проекта, исполнителями гранта в составе двух бригад были изучены береговые обнажения отложений миоцена для обоснованного решения целого ряда поставленных научных задач, в том числе возникших в ходе выполнения проекта (например, выявление наличия перемагничивания пород).

Первой бригадой в ходе полевых работ на опорных разрезах неогеновых толщ Восточного Паратетиса Попов Камень (45,147722, 36,628388) и Панагия (45,140277, 36,633281) была отобрана представительная коллекция образцов, состоящая из 227 штуфов для наращивания и уточнения данных, полученных ранее. Штуфы отбирались с шагом 0,1-2 метра из предварительно зачищенных стенок разреза и ориентировались в пространстве с помощью горного компаса. Одновременно с этим второй бригадой на разрезах мыс Попов Камень и мыс Панагия проводились измерения магнитной восприимчивости пород для дальнейшей обработки данных методами математического анализа с целью выявления устойчивой записи астрономической цикличности в изучаемых отложениях в соответствии с задачами циклостратиграфии. Указанные измерения магнитной восприимчивости проводились портативным каппаметром КТ-5 (Чехия, Брно) через 0,2 м вкрест простирания толщ. В каждой точке было произведено по три замера. Всего было получено 802 первичных определений, часть замеров была проведена для наращивания ранее полученных данных (замеры по ранее закрытым оползнями интервалам). При этом породы верхнего сармата разреза м. Попов Камень были впервые опробованы данным методом. В ходе этих работ впервые были проведены пилотные исследования переходных сармат-мэотических пород с помощью портативного гамма-спектрометра GS-512 (Чехия) для определения полной гамма-активности и концентраций К, U и Th, значения которых также могут быть использованы для выявления наличия записи астрономической цикличности. Всего было получено 3372 первичных определений.

Далее был проведен второй этап экспедиционных работ по изучению мелководных



отложений миоцена на территории Грузии. Для датирования возраста границ стратиграфических подразделений верхнего миоцена методами циклостратиграфии были проведены измерения магнитной восприимчивости пород сарматских отложений разреза Удабно (45,378436, 41,454575), расположенного вблизи одноименного поселения у монастыря Давида Гареджи (Кахетия). Измерения проводились полевым каппаметром КТ-5 (Чехия, Брно) с интервалом 0,2 м, общая мощность апробированных отложений – порядка 30 м (получено около 400 измерений). В ходе полевых изысканий также был отобран фактический материал, включая опробование нескольких прослоев вулканических пеплов, а также палеонтологические сборы органогенных остатков хорошей сохранности, определение возраста и таксономической принадлежности которых в настоящее время уточняются.

7.3 Совершенствование структуры БД и публикация Интерактивного ГИС-Атласа

В рамках работ текущего этапа реализации проекта были проведены работы по модернизации базы данных (БД) с целью оптимизации хранения и представления для дальнейшего анализа авторских данных по оценке влияния астрономической цикличности на процессы осадконакопления. Помимо совершенствования структуры, был существенно расширен контент БД. Так, она пополнилась новыми данными по имеющимся ранее разрезам (Панагия, Попов Камень и т. д.) в целях расширения стратиграфического охвата и уточнения ранее полученных результатов, а также новыми разрезами мелководных и глубоководных отложений миоцена Керченско-Таманского региона и Грузии – Урочище Скеля, Уджарма с комплексным описанием всех атрибутивных полей (ID, название разреза и его местонахождение с привязкой; литологическое макроописание разреза; стратиграфическая привязка; мощность изучаемого интервала; степень обнаженности; проводимые исследования (измерения магнитной восприимчивости, литологические исследования, палеомагнитные исследования, прочие лабораторные исследования – изотопный анализ, расчет скорости осадконакопления и т. д.); количество отобранных для исследования образцов; год проведения исследования; приуроченность к геологической структуре; палеонтологические находки; ссылка на литературу; прочее).

Кроме того, была создана отдельная версия базы данных на английском языке (рис. 7.1) с целью публикации на веб-платформе и дальнейшего ввода в эксплуатацию Интерактивного ГИС-Атласа «Interactive Geology Atlas»: на базе методов системного анализа детальная информация по изучению отложений мезотиса на территории

Паратетиса, полученная в результате полевых и лабораторных работ в ходе работ по проекту и ранее, представлена в единой ГИС-среде для обеспечения возможности проведения комплексных аналитических исследований по изучению сложных геологических процессов (таких как особенности осадконакопления, колебания инсоляции, изменения климата и т. д.) в пространстве и времени.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	ID	Section name	Location	Longitude	Latitude	Description of the Section	Thickness, m	Magnetic susceptibility	Step of measurement, m	Amount of measurements
2	2	Popov Kamen	Taman Peninsula, Russia	45.1477222222	36.6283888888	Lithological and Sedimentological Description	108	Magnetic susceptibility values	0,2	915
3										

Рисунок 7.1 – Фрагмент объекта БД «Попов Камень»

Представление и визуализация полученных пространственных данных – изучаемых разрезов – с целью дальнейшего анализа конечного пользователя является одной из ключевых в данном проекте. В качестве инструмента для достижения этих целей была выбрана ГИС-технология по созданию геопортала ESRI ArcGIS Web AppBuilder. Выбор этого способа создания геопортала обуславливается несколькими критериями. Во-первых, функционал геопортала включает в себя множество наборов стандартных инструментов анализа пространственных данных, позволяя также их настраивать. Во-вторых, простота использования технологии, которая позволяет создавать многопользовательский веб-геопортал всего в несколько этапов, не обладая при этом специальными знаниями в области веб-технологий. Этапы создания геопортала кратко перечислены ниже:

1. Подготовка данных, полученных в результате предварительных изысканий, импортируемые в ГИС приложения, такие как ESRI ArcGIS online/ArcGIS Pro/Arcmap: конвертация пространственных данных с последующим использованием их в среде ArcGIS; трансформация структуры данных (интерполяция/оцифровка/определение проекции/перепроецирование); кастомизация слоёв: применение цветовой палитры, определение диапазонов значений внутри классов данных; описание данных: добавление метаданных для слоя данных;
2. Публикация обработанных данных в виде сервиса на ГИС-сервер;



3. Завершающая подготовка данных на сервере, получение готового продукта в виде набора геоданных, составляющих ГИС-сервис, с целью встраивания последнего в конечное веб-приложение/геопортал.

Структура временного и постоянного хранения данных геопортала является также одной из причин выбора именно этой технологии. Она состоит нескольких составляющих: локальная БД, представленная в виде реляционной (SQL) БД для хранения первичной пространственной информации; ГИС-сервер, на котором размещаются картографические сервисы и инструменты для обработки и анализа геопространственных данных; веб-сервер, на котором размещено конечное веб-приложение, со включённым в него наборами ГИС-сервисов и элементами анализа данных, доступное конечному пользователю. В рамках ГИС разработки по проекту, были определены следующие задачи на текущий этап проекта: создание ГИС-геопортала путём компоновки отдельных сцен карт; настройка инструментов анализа геопортала. Доступность для конечных пользователей осуществляется переходом по ссылке <https://geology-gis.gcras.ru/> (рис. 7.2).

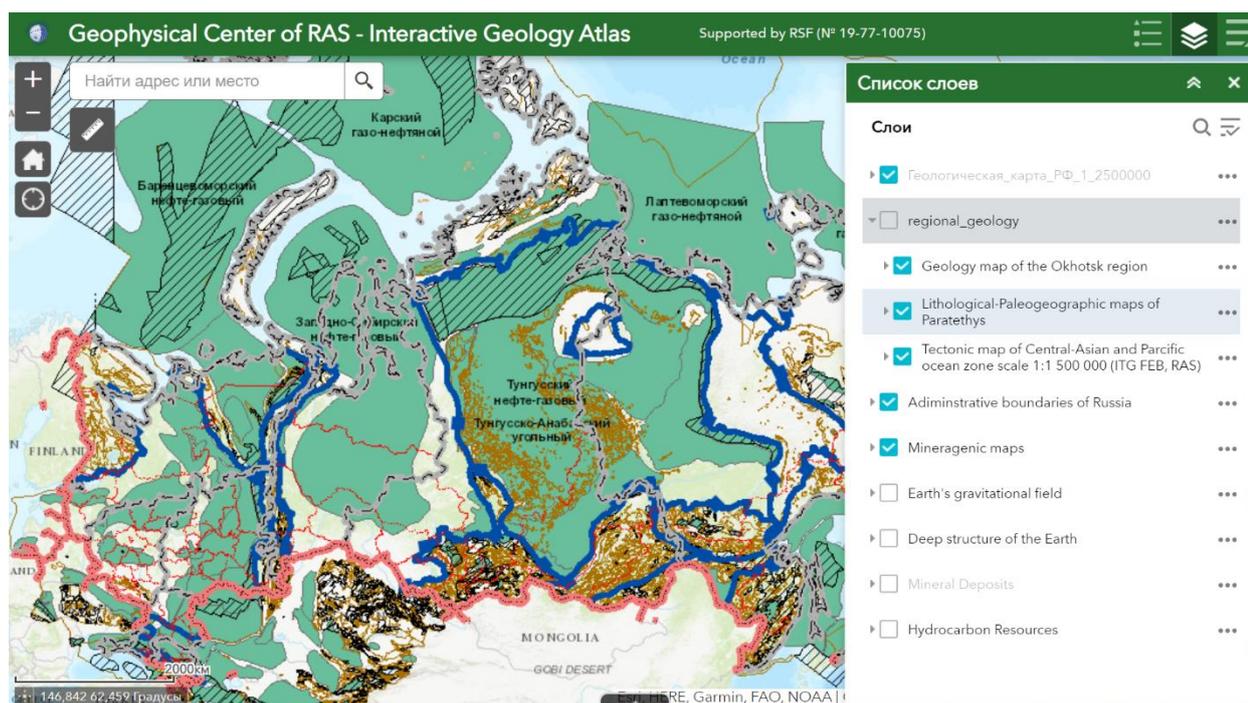


Рисунок 7.2 – Интерактивный ГИС-Атлас «Interactive Geology Atlas»

В рамках созданного веб-приложения, пользователям доступны также ряд инструментов анализа геоданных, а именно: инструмент измерения расстояний, включающий в себя измерение линейных и площадных категорий объектов; определение координат выбранных точек; просмотр атрибутивной таблицы, а также выбор карты подложки, для более наглядной визуализации данных.



7.4 Математическая обработка данных полевых измерений

На текущем этапе реализации проекта в качестве полевых данных, подлежащих математической обработке, были взяты измерения магнитной восприимчивости пород, полученные по отложениям сармата разреза Попов Камень, слагающих 40-метровый интервал, основание которого располагается 70 м ниже выходов крупных мшанковых биогермов в подошвенной части мэотиса. Также математической обработке подверглись аналогичные данные по отложениям сармата разреза Удабно, Грузия.

Проведен статистический анализ эквидистантных рядов полевых измерений. Предварительно были рассчитаны средние значения 3-х первичных замеров в каждой точке, которые затем были логарифмированы и детрендированы. Для разреза Попов Камень выявлен один устойчивый спектральный пик, расположенные на частоте 0,3, что соответствует длине цикла 3,4 м. Для разреза Удабно выявлен один устойчивый спектральный пик, расположенные на частоте 0,39, что соответствует длине цикла 2,56 м.

Важным результатом финального этапа является реализация программного средства «Алгоритм нечеткой логики для определения периодов временных рядов», основанного на авторской методике, позволяющей оценить состоятельность любого положительного числа как периода исходной функции. Наилучшие ответы, при условии их существования, будут периодами. Методика базируется на ДМА, который является оригинальным подходом к анализу дискретных данных.

Программа написана на языке Python и помимо стандартных программных модулей NumPy для работы с многомерными массивами и высокоуровневыми математическими функциями для них, а также Matplotlib для визуализации данных, используются авторские модули, реализующие конкретные шаги алгоритма. Рассмотрим некоторые из них.

- Программный модуль "new_period.py" содежит в себе две подпрограммы:
 - "main()" – вызывает подпрограмму считывания исходных данных "get_data()" из модуля "MvolcanoData.py", а затем вызывает "analysis(...)";
 - "analysis(*t*, *y*, *st* = 1, *title* = None, *name* = None)" – осуществляет анализ полученной функции и выводит полученные результаты; первые два параметра обязательны, последующие – необязательны: *t* – множество определения исследуемой функции, *y* – множество значений функции, *st* – способ определения периода (1 – по самой функции, 2 – по скользящему среднему, 3 – по скользящей дисперсии).



- Программный модуль "MvolcanoData.py" содержит в себе подпрограмму "get_data()", которая считывает исходные данные из файла Excel или текстового файла с разделителями и формирует из них NumPy-массив.
- Программный модуль "CFuncAnalysis.py" содержит подпрограммы, определяющие периоды на исходной функции и оценивающие их достоверность.
- Программный модуль "Skolmmean.py" вычисляет для произвольного конечного положительно определенных чисел так называемого Колмогоровского среднего:

$$\bar{x} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i)^q}{n} \right)^{\frac{1}{q}}, x_i > 0, i = 1, \dots, n \quad (7.1)$$

- Программный модуль "CRTimeNear.py" позволяет вычислять в каждой точке оси x меру близости, зависящую от радиуса близости r и показателя степени p :

$$\delta_t(\bar{t}) = \left(1 - \frac{|t - \bar{t}|}{r} \right)^p \quad (7.2)$$

если $|t - \bar{t}| < r$ и $\delta_t(\bar{t}) = 0$, в противном случае смотрите на рис. 7.3.

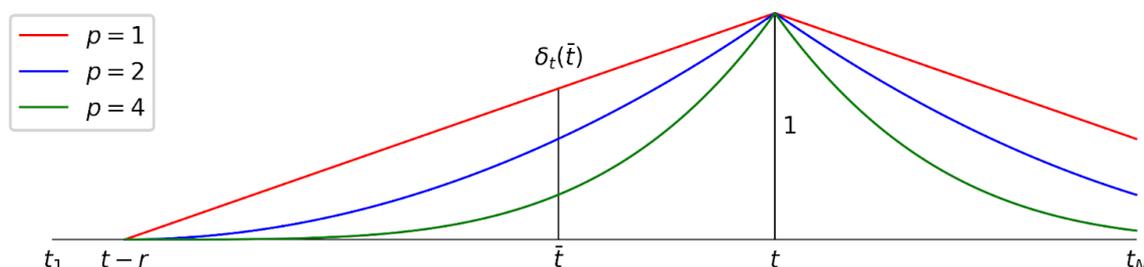


Рисунок 7.3 – Распределение меры близости в зависимости от радиуса близости и показателя степени в законе распределения

- Программный модуль "CAllRegress.py" содержит класс, позволяющий в каждой точке t вычислять регрессионную производную и регрессионное сглаживание:

$$a_t = \frac{\left| \begin{array}{cc} \sum_{\bar{t} \in T} \bar{t} \delta_t(\bar{t}) y_{\bar{t}} & \sum_{\bar{t} \in T} \bar{t} \delta_t(\bar{t}) \\ \sum_{\bar{t} \in T} \delta_t(\bar{t}) y_{\bar{t}} & \sum_{\bar{t} \in T} \delta_t(\bar{t}) \end{array} \right|}{\left| \begin{array}{cc} \sum_{\bar{t} \in T} \bar{t}^2 \delta_t(\bar{t}) & \sum_{\bar{t} \in T} \bar{t} \delta_t(\bar{t}) \\ \sum_{\bar{t} \in T} \bar{t} \delta_t(\bar{t}) & \sum_{\bar{t} \in T} \delta_t(\bar{t}) \end{array} \right|}, \quad b_t = \frac{\left| \begin{array}{cc} \sum_{\bar{t} \in T} \bar{t}^2 \delta_t(\bar{t}) & \sum_{\bar{t} \in T} \bar{t} \delta_t(\bar{t}) y_{\bar{t}} \\ \sum_{\bar{t} \in T} \bar{t} \delta_t(\bar{t}) & \sum_{\bar{t} \in T} \delta_t(\bar{t}) y_{\bar{t}} \end{array} \right|}{\left| \begin{array}{cc} \sum_{\bar{t} \in T} \bar{t}^2 \delta_t(\bar{t}) & \sum_{\bar{t} \in T} \bar{t} \delta_t(\bar{t}) \\ \sum_{\bar{t} \in T} \bar{t} \delta_t(\bar{t}) & \sum_{\bar{t} \in T} \delta_t(\bar{t}) \end{array} \right|}. \quad (7.3)$$

где a_t – регрессионная производная, а b_t – регрессионное сглаживание.



- Программный модуль "CCompData.py" содержит подпрограмму "comp()", которая позволяет осуществлять сравнение двух наборов данных: $S1$ и $S2$. В случае эквивалентности, она возвращает значение "true", в противном случае – "false".
- Программный модуль "Mtools.py" содержит несколько рабочих процедур:
 - "get_limits" – разбивает область определения функции на непересекающиеся подмножества смежных точек;
 - "splitname" – выделяет из имени файла диск, директорию, имя и расширение;
 - "var_class" – определяет тип переменной;
 - "var_len" – определяет количество элементов в переменной.
- Программный модуль "CDate.py" содержит две подпрограммы, которые изменяют формат даты и времени:
 - datenum(year, month, day, hour, minute, second) – переводит дату и время из обычного представления во внутреннее, измеряемое в сутках от 0 н.э.;
 - datevec(num) – делает операцию, обратную подпрограмме datenum, т.е. переводит время из внутреннего представление в обычное.
- Программный модуль "CToolsGraph.py" содержит подпрограмму сохранения изображения в одном из нескольких базовых растровых форматов: 'png', 'jpg', 'eps'.
В результате математической обработки рассматриваемых данных можно сделать следующие основные выводы по циклостратиграфии изучаемых толщ:
 1. В отложениях сармата, представленных как относительно глубоководными (разрез Попов Камень), так и мелководными (разрез Удабно) фациями разных частей Восточного Паратетиса выявлено наличие записи астрономической цикличности, позволяющей рассчитывать скорости седиментации и длительность накопления толщ.
 2. В рассматриваемых отложениях выявлены циклы со сходными значениями длин, что может указывать на хорошую сходимость полученных результатов, высокую степень их достоверности и влияние колебаний инсоляции, соответствующих одному и тому же периоду.
 3. Возможно предположить, на основе ранее полученных данных по циклостратиграфии отложений миоцена Восточного Паратетиса, что установленные циклы в рассматриваемых отложениях соответствуют колебаниям прецессии. Дальнейшая верификация этого вывода требует дополнительного сопоставления с имеющимися результатами литологических, магнитостратиграфических, радиометрических и палеонтологических исследований.



Список использованных источников

- Enkin R. J. The direction-correction tilt test: an all-purpose tilt/fold test for paleomagnetic studies // *Earth Plan. Science Lett.* 2003. V. 212 (1-2). P. 151-161.
- Gradstein F. M., Ogg J. G., Schmitz M. D., Ogg G. M. *The Geologic Time Scale 2020*, V. 2. Elsevier. Amsterdam. 2020. P. 1141-1215.
- Lowrie W. Identification of ferromagnetic minerals in a rock by coercivity and unblocking temperature properties // *Geophysical Research Letters.* 1990. V. 17(№2). P. 159-162.
- Palcu D. V., Popov S. V., Golovina L. A., Kuiper K. F., Liu S., Krijgsman W. The shutdown of an anoxic giant: Magnetostratigraphic dating of the end of the Maikop Sea // *Gondwana Research.* 67. 2019. P. 82-100.
- Pilipenko O. V., Salnaya N. V., Rostovtseva Yu. V., Novruzov Z. Rock-magnetic studies of the Tarkhanian sediments in Kop-Takyl section (the Kerch peninsula) // *Russian Journal of Earth Sciences.* 2021. V. 21. ES2005. <https://doi:10.2205/2021ES000765>

8 Системный анализ динамики геофизических процессов в российской Арктике и их воздействие на развитие и функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта

Грант РФФИ №: 21-77-30010

Регистрационный №: 121033000268-2

Руководитель: г.н.с., д.ф.-м.н. В.А. Пилипенко

Проект посвящен комплексным геолого-геофизическим и климатическим исследованиям Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), включающим оценку влияния космической погоды, изучение структуры земной коры и осадочных бассейнов, исследование сейсмичности и оценку целого ряда климатических факторов. Объединяющим звеном проекта служит единая геоинформационная система (ГИС), предназначенная для комплексного анализа и визуализации новых данных, полученных по каждому из упомянутых направлений.

8.1 Исследование электромагнитных процессов околоземной среды и воздействий космической погоды на технологические системы

Была разработана интерактивная компьютерная модель краткосрочного (с горизонтом 30-70 мин) прогноза интенсивности полярных сияний в виде веб-ориентированной геоинформационной системы (<http://aurora-forecast.ru>). На её базе построена система, моделирующая пространственное планетарное распределение вероятности наблюдения полярных сияний и ряда сопутствующих величин (рис. 8.1). Верификация прогноза проведена путем сопоставления прогнозов модели с данными 16 камер непрерывных наблюдений полярных сияний в видимом спектре. Доля совпадений прогнозных и наблюдаемых сияний составила 86%.

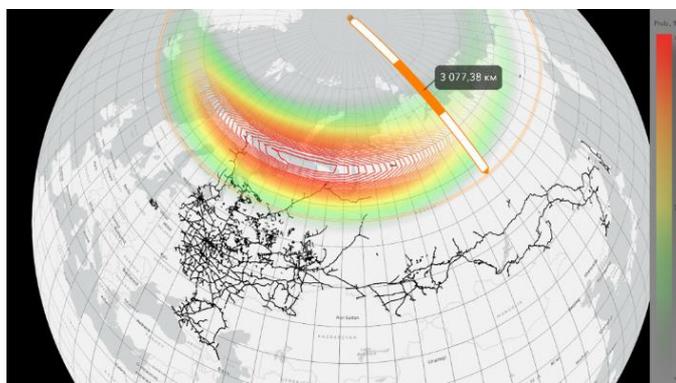


Рисунок 8.1 – Моделирование положения аврорального овала (<http://aurora-forecast.ru>)



По результатам статистического и корреляционного анализа целевой функции (уровень ГИТ, зарегистрированный на трансформаторной подстанции) и геомагнитных данных близлежащих магнитометров IMAGE выделены признаки, которые лучше всего характеризуют целевую переменную в данном регионе. С использованием машинных методов обучения выделенные признаковые объекты используются для расчета соотношений для диагностики ГИТ. Оценка коэффициента детерминации для различных методов машинного обучения выявила, что регрессионный подход и искусственные нейронные сети (ИНС) являются лучшим решением для рассматриваемой проблемы. Проверочные тесты показали, что подход на основе ИНС и регрессионных методов обеспечивают почти такую же диагностическую точность для ГИТ (среднеквадратическая ошибка 0,12 А). Однако методы на основе ИНС менее интерпретируемы и требуют больше компьютерных ресурсов.

Было установлено, что предсказанная моделированием изменчивость магнитного поля dB/dt в Восточной Скандинавии оказалась более чем на порядок меньше наблюдаемой. Таким образом, версия МГД-модели SWMF, используемая NOAA, не может адекватно предсказать тонкую структуру бури/суббури – геомагнитных возмущений $Pi3$ и, следовательно, величины ГИТ, которые они вызывают.

Выполнена оценка в рамках упрощенной модели предельных и частных петель гистерезиса. Подготовлено представление сигнала в виде, допускающем численное моделирование для квазиреальной модели трансформатора.

Рассмотрены статистические соотношения между амплитудами ГИТ и вариабельностью магнитного поля для выяснения, как спектральное содержание $Pc5-6/Pi3$ (периоды 3-15 мин) геомагнитных пульсаций влияет на эффективность генерации ГИТ.

Выполнен статистический анализ сбоев в работе ж/д автоматики на Северном участке Октябрьской железной дороги в максимуме и на спаде 23 солнечного цикла. Рассматривался архив журнальных записей запротоколированных сбоев на участке от ст. Кадалакша ($67,15^\circ$ СШ) до ст. Никель-Мурманский ($69,4^\circ$ СШ) за 2001-2006 гг. Всего было проанализировано более 1800 записей о сбоях за 6 лет. Анализ с помощью четырех статистических тестов на разных принципах показал, что вероятность появления сбоев растет с уровнем геомагнитной активности. При этом, значимым оказываются интегральные за 2-4 дня значения индексов (\sim длительность бури). Группы сбоев, для которых были указаны причины (в основном, механические повреждения, метеорологические причины или вмешательство посторонних лиц), не обнаруживают отличий в статистической связи с геомагнитной активностью. Возможные причины –

технические (неточности описания) и физические (косвенное влияние через погоду). Таким образом, геомагнитная активность на высоких широтах является значимой причиной, контролирующей появление сбоев в работе ж/д автоматики (рис. 8.2).

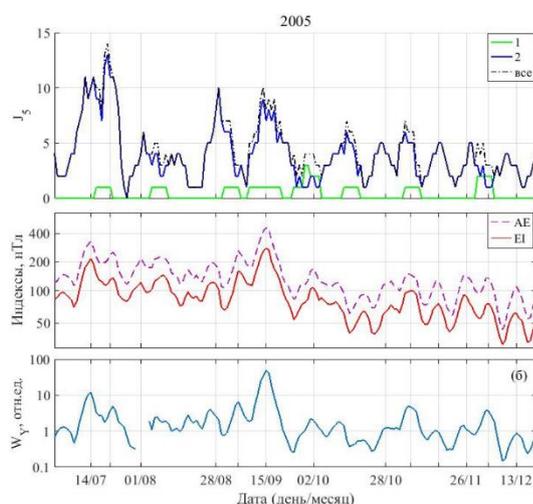


Рисунок 8.2 – Изменение частоты сбоев (верхний график), геомагнитные индексы (средний график) и спектральная плотность пульсаций Pc5 (нижний график). Для большинства максимумов авроральной активности и локальной возмущенности наблюдается и рост частоты сбоев

Были проведены абсолютные наблюдения магнитного поля в районе д. Александровка, Калужская область, которые подтвердили возможность строительства обсерватории ИНТЕРМАГНЕТ в указанном районе.

Был собран и прошел предварительные испытания прототип автономной градиентной установки для дистанционной регистрации ГИТ на основе сборок датчиков слабых магнитных полей (Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН). Испытание проведено на обсерватории стандарта ИНТЕРМАГНЕТ «Климовская», где выполняется непрерывная запись трехкомпонентным феррозондовым магнитометром DTU FGE (рис. 8.3). Было установлено, что чувствительность и точность прибора достаточны для фиксации вариаций горизонтальных компонент амплитудой ≥ 10 нТл, которые могут порождать потенциально опасные геомагнитно-индуцированные токи в ЛЭП.

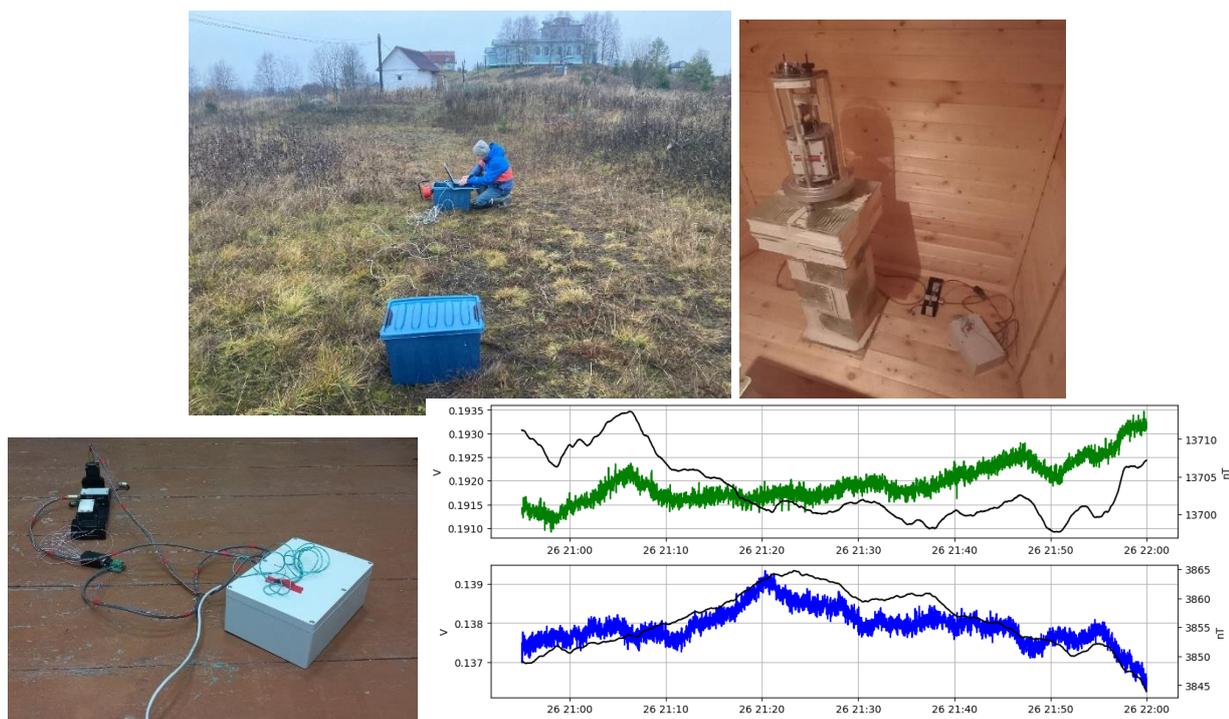


Рисунок 8.3 – Испытание градиентной установки на магнитной обсерватории стандарта ИНТЕРМАГНЕТ «Климовская» (Архангельская обл.) и сравнение записей градиентной установки (цветные кривые) и обсерваторского магнитометра (черные)

8.2 Исследование крупных геологических структур и осадочных бассейнов на основе комплексного анализа гравитационного поля и других геофизических данных

Велись работы по построению региональной модели литосферы и части верхней мантии для АЗРФ, включающей множество параметров, представленных на сетке $1^\circ \times 1^\circ$. Была создана новая модель теплового потока для Арктики. На рис. 8.4 точками обозначены места инструментальных определений согласно базе данных Международной комиссии по тепловому потоку (IHFC) 2021 г., звёздочками – вулканические тепловые поля. Среди наиболее значимых, были построены следующие модели и карты:

1. карта эффективной мощности «упругой» литосферы для АЗРФ (рис. 8.5);
2. скорректированная плотностная модель консолидированной коры, представленная усредненными по вертикали значениями плотности (рис. 8.5);
3. карта изменений плотности в верхней мантии, обусловленных вариациями температуры (рис. 8.6), и карта аномалий плотности, обусловленных вариациями состава мантии (рис. 8.6), на глубинах Мохо-75 км, 75-125, 125-175, 175-225, 225-275 и 275-325 км;



4. скорректированная тепловая модель верхней мантии для глубин 50, 100, 150, 200, 250 и 300 км (рис. 8.7).

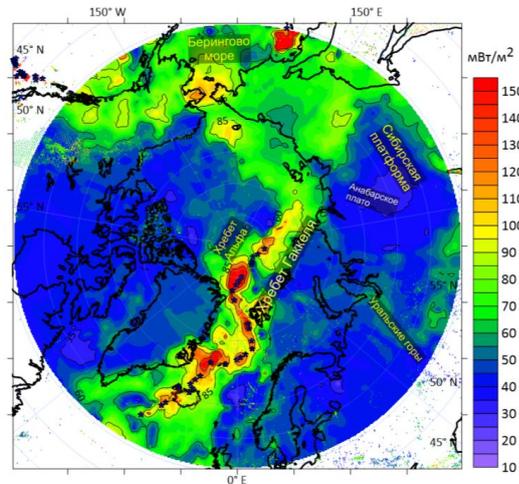


Рисунок 8.4 – Модель теплового потока Арктики

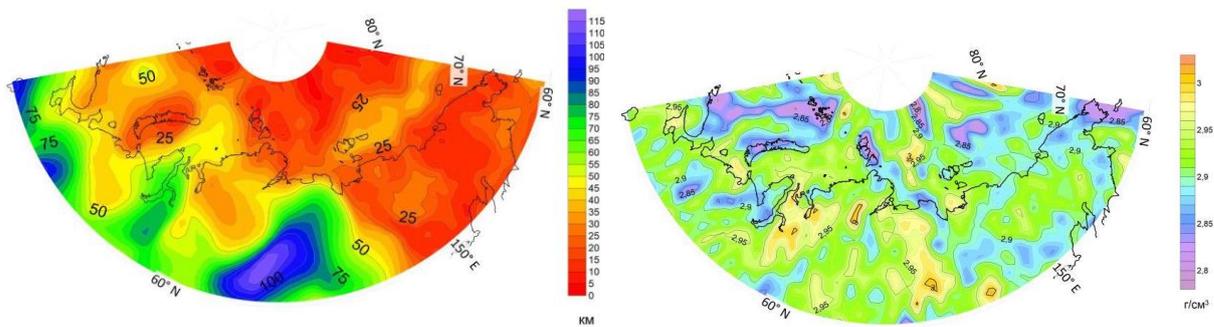


Рисунок 8.5 – Эффективная мощность «упругой» литосферы для АЗРФ и скорректированная плотностная модель консолидированной коры, представленная усредненными по вертикали значениями плотности

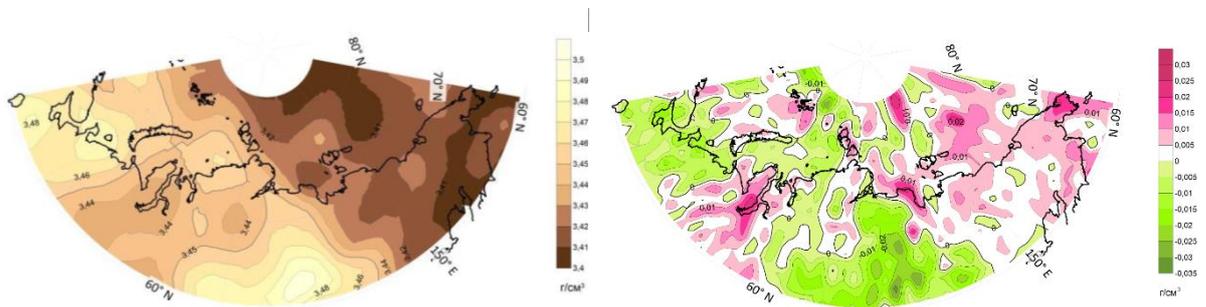


Рисунок 8.6 – Карта изменений плотности в верхней мантии, обусловленных вариациями температуры, и карта аномалий плотности, обусловленных вариациями состава мантии, на глубине 150 км

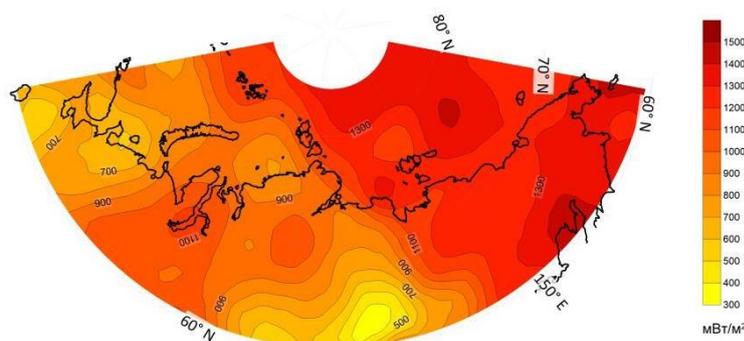


Рисунок 8.7 – Скорректированная тепловая модель верхней мантии, срез на глубине 150 км

Все остальные полученные результаты в виде сеток размещены на сервере ГЦ РАН: карты распределения изгибной жесткости литосферы; гравитационный эффект коры: гравитационное поле и его вертикальные градиенты; гравитационный эффект верхней мантии: гравитационное поле и его вертикальные градиенты; остаточные «мантийные» аномалии силы тяжести, аналогичные аномалии вертикальных градиентов и остаточная топография; глубины до подошвы литосферы.

8.3 Оценка сейсмической и иных геодинамических опасностей в районах перспективного развития инфраструктуры российской Арктики

Для регионов восточного сектора АЗРФ построены карты региональных коэффициентов закона повторяемости и параметра закона продуктивности землетрясений. На основе методики построения синтетического каталога землетрясений, разработанной в рамках проекта РНФ № 20-17-00180, разработан метод построения синтетического каталога землетрясений, в котором используются результаты распознавания мест сильных землетрясений по методике FCAZ. По указанной методике подготовлен синтетический каталог землетрясений на условный период 1000 лет для Черского-Хараулахской зоны. На базе системно-аналитического метода FCAZ в восточном секторе АЗРФ распознаны зоны, в пределах которых могут возникать землетрясения с $M \geq 5,5$. Показано, что распознанные потенциальные высокосейсмичные зоны приурочены к границам Евразийской, Северо-Американской и Охотоморской тектонических плит. По итогам FCAZ-распознавания высокосейсмичными признаны, в том числе, районы, расположенные на достаточном удалении от основных тектонических структур региона. На рис. 8.8-8.11 проиллюстрированы полученные результаты.

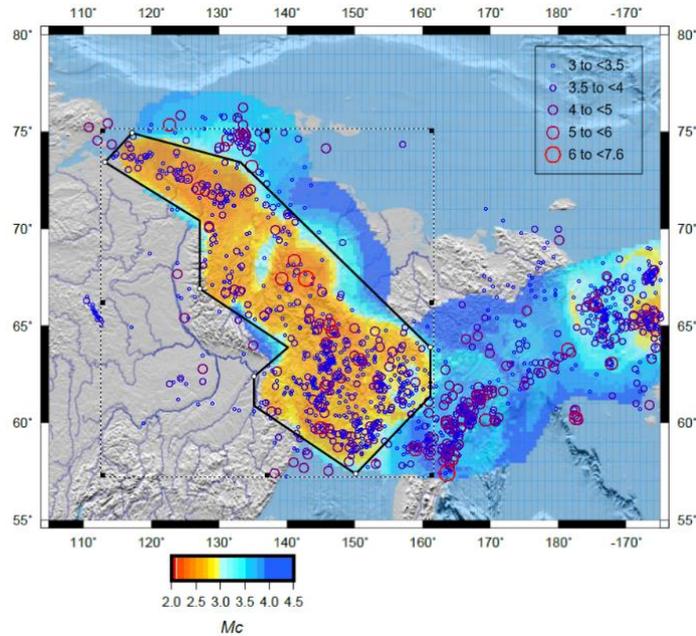


Рисунок 8.8 – Карта магнитуды полной регистрации M_s для каталога за период 1982-2020 гг., построенная мульти-масштабным методом. Многоугольником отмечена область, где для вычисления параметров сейсмичности используются землетрясения с $M \geq 3,0$. На остальной территории используются события с $M \geq 4,0$

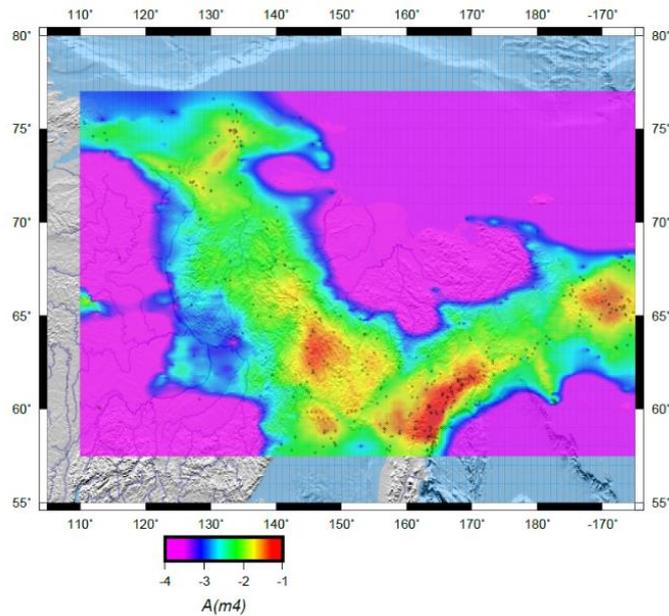


Рисунок 8.9 – Вариации сейсмической активности $a(m4) = \log_{10} \nu$, ν – оценка числа землетрясений с магнитудой $M \geq 4,0$, вычисленная по формуле:

$$\nu(M) = N(M) \frac{S_{cell}^{d_f^{(b)}}}{S_{d_f^{(b)}}}$$

Здесь $N(M)$ – число землетрясений с магнитудой $m \geq M$ в круге,

$S_{cell}^{d_f^{(b)}}$ и $S_{circle}^{d_f^{(b)}}$ – площади ячейки и круга в $d_f^{(b)}$ -мерном пространстве,

$d_f^{(b)}$ – корреляционная фрактальная размерность множества эпицентров в регионе.

Значения $a(m4)$ привязаны к среднему положению землетрясений выборки.
Землетрясения показаны черными кружками

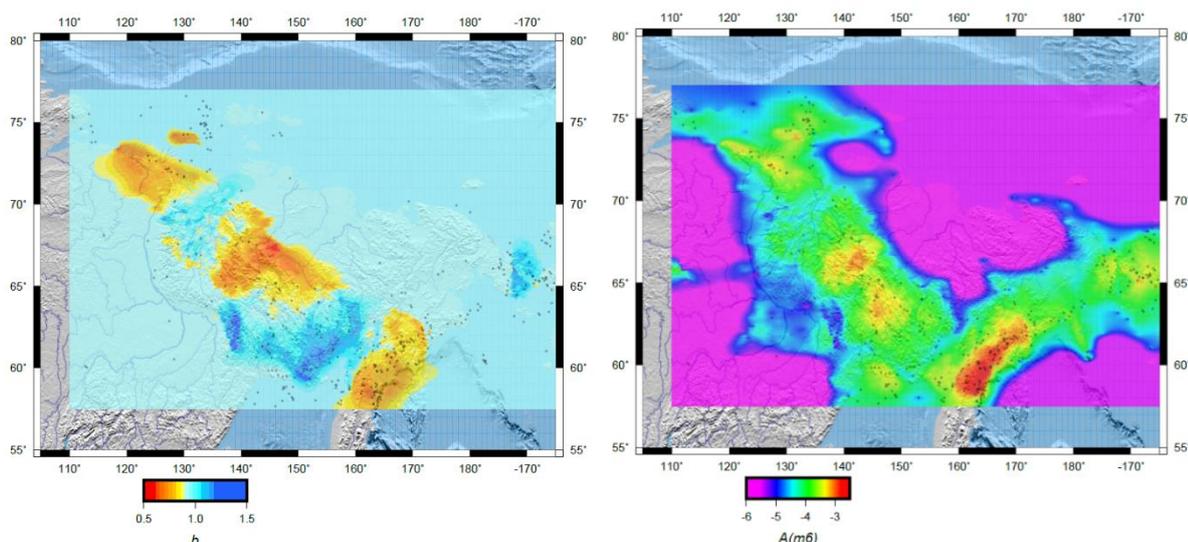


Рисунок 8.10 – Слева – вариации наклона графика повторяемости. Значения b – value привязаны к среднему положению землетрясений выборки. $R = 300$ км, $N_{\min} = 50$ событий. В местах низкой сейсмической активности используется региональное значение наклона графика повторяемости $b = 0,924$. Справа – сейсмическая активность $a(m6)$. Вариации сейсмической активности для любого уровня магнитуды вычисляются в соответствии с локальным значением наклона графика повторяемости $a(M) = a(Mc) - b(M - Mc)$

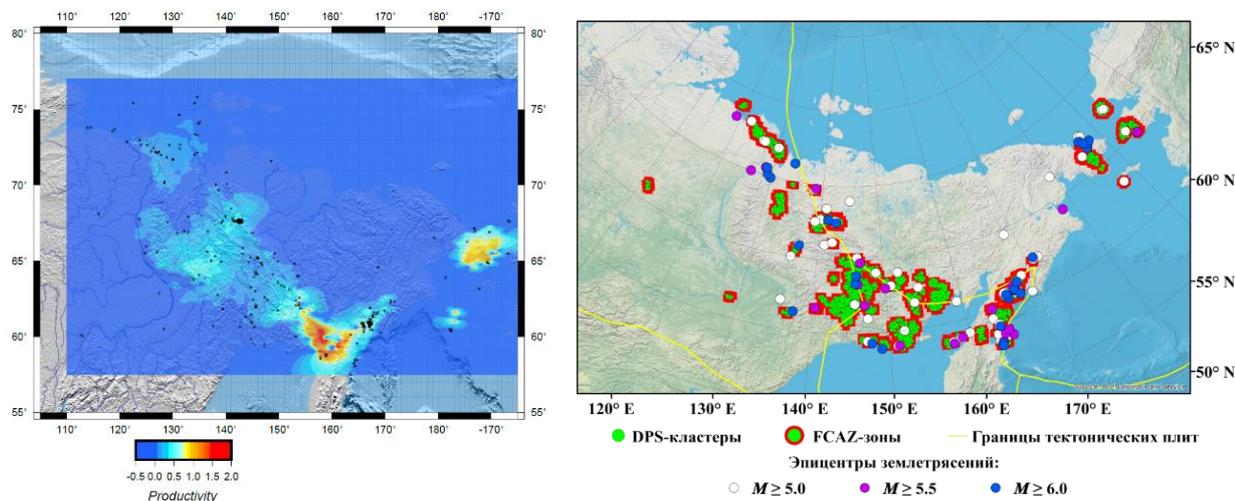


Рисунок 8.11 – Слева – средняя продуктивность в кругах с радиусом $R = 300$ км, $DM = 1$. Черными кружками отмечены эпицентры землетрясений, которые использованы для расчета продуктивности. Справа – FCAZ-зоны возможного возникновения з/т с $M \geq 5,5$ в восточном секторе АЗРФ и эпицентры з/т с $M \geq 5,0$

8.4 Исследование климатических процессов, критичных для развития железнодорожной инфраструктуры

Исследования климатических изменений среднемесячной температуры приземного воздуха (ТПВ) и температуры почвы (ТП) на территориях Мурманской и Архангельской областей и Республики Карелия по данным реанализа 20thC_ReanV3 за

период 1948-2015 гг. показали климатический тренд ТПВ + 0,028 °C/год, а ТП + 0,0137 °C/год на поверхности (0 см), + 0,0136 °C/год на глубине 10 см, + 0,0142 °C/год на глубине 40 см и + 0,0133 °C/год на глубине 100 см (рис. 8.12). Максимум соотношения линейного тренда ТП на глубине 100 см к линейному тренду ТПВ показал значения более 0,6 в районе п-ва Рыбачий и Териберки (северное побережье Кольского полуострова) и севернее Беломорско-Кулойского плато (восточное побережье Белого моря).

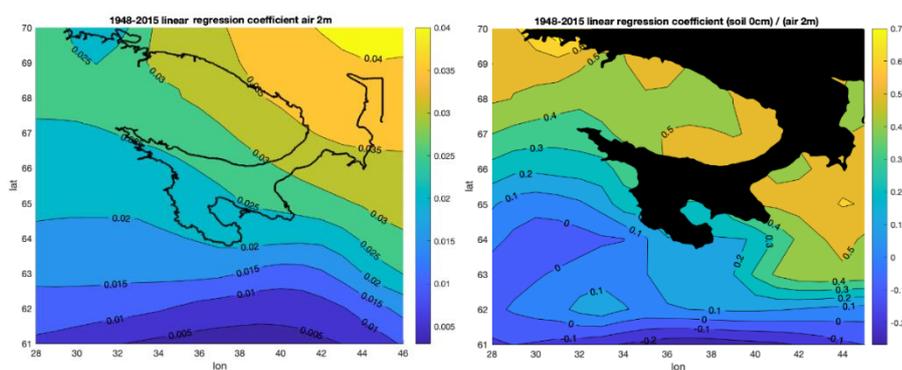


Рисунок 8.12 – Пространственная неоднородность межгодовой изменчивости ТПВ и соотношения линейного тренда ТП слоя 0-100 см к линейному тренду ТПВ за период 1948-2015 гг.

Анализ диаграмм рассеяния между ТП на последовательных горизонтах 0-10, 10-40 и 40-100 см показал, что петля температурного гистерезиса постепенно сжимается, т. е. уменьшается площадь внутренней области (рис. 8.13). Максимальный тренд – 0,205 °C²/год наблюдается в слое 0-10 см, а в слое 10-40 см всего – 0,042 °C²/год, т. е. почти в 5 раз ниже. В слое 40-100 см наблюдается обратная тенденция, рост со скоростью + 0,005 °C²/год. Подобная картина показывает, что тепловой поток от центра Земли по всему району постепенно увеличивается.

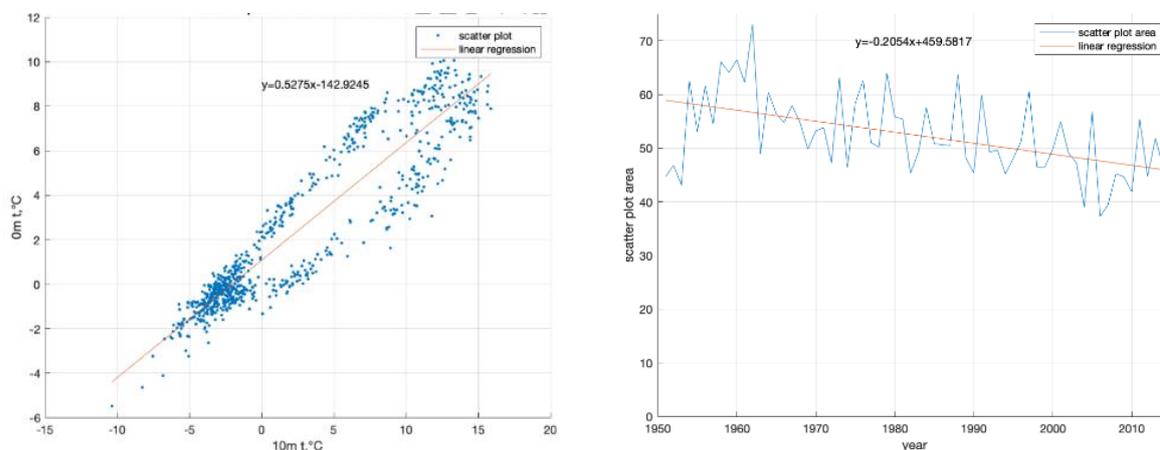


Рисунок 8.13 – Диаграмма рассеяния ТП и временная изменчивость площади петли гистерезиса между горизонтами 0-10 см за период 1948-2015 гг.



По данным СВЧ радиометра SSM/I за период 1987-2018 гг. наблюдается положительный межгодовой рост радиояростной температуры на частоте 37 МГц горизонтальной поляризации $+0,92$ °C/год, что выше, чем эта величина по данным реанализа, так как на этой частоте радиояростная температура зависит как от температуры поверхности, влажности почвы, снежного и ледяного покровов, так и от изменения растительного покрова.

По данным спутниковой альтиметрии уровень Баренцева моря за период 1993-2021 гг. рос со скоростью $+4,31 \pm 0,49$ мм/год, что сопоставимо со скоростью подъема уровня Мирового океана и выше, чем в Белом море ($+3,32 \pm 0,61$ мм/год). Обнаружены значительные сезонные вариации трендов изменения уровня Баренцева моря. Максимальная величина $9,51 \pm 1,64$ мм/год наблюдается в марте, а минимальная $1,76 \pm 1,35$ мм/год – в январе. Анализ межгодовой изменчивости значимых высот волн по данным спутниковой альтиметрии показал незначительный тренд $-0,1 \pm 0,05$ см/год на акватории Баренцева моря. По данным альтиметрических измерений межгодовая изменчивость значимых высот волн Ладожского и Онежского озер за 1993-2020 гг. составила $-2,3 \pm 1,3$ см/год и $-3,1 \pm 1,8$ см/год, соответственно (рис. 8.14).

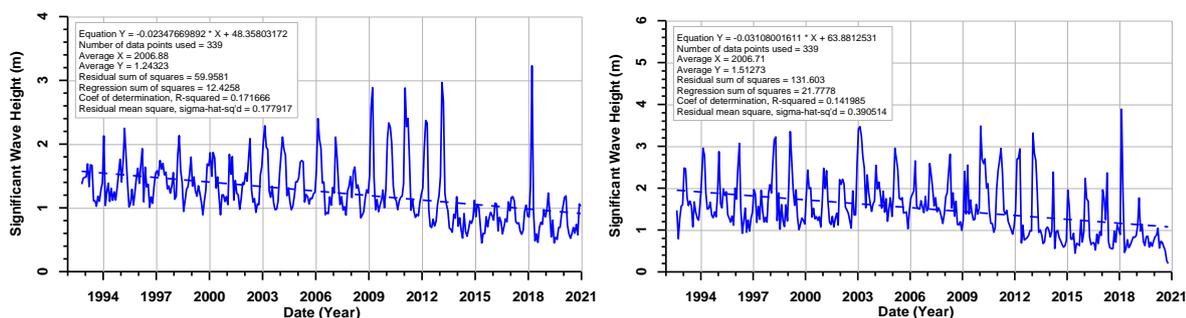


Рисунок 8.14 – Межгодовая изменчивость значимых высот волн на акватории Ладожского и Онежского озер по данным спутниковой альтиметрии за 1993-2022 гг.

Анализ климатической изменчивости ледового режима Ладожского и Онежского озер по данным СВЧ-радиометра, измеряющего в надир, за 1993-2021 гг. показал, что время становления ледяного покрова на акватории этих озер имеет небольшой, но заметный тренд: 1-6 дней в более поздние сроки, а время вскрытия озер ото льда – 14 дней в более ранние сроки. Продолжительность безледного периода возросла в среднем с 215 дней до 227 дней.

Была произведена оценка роли аэрозолей в формировании электродинамического отклика ионосферного слоя, и, в особенности, нижних слоев ионосферы, ответственных за перенос и деградацию радиосигналов со спутников. В условиях ионосферы на высотах 60-120 км аэрозольные частицы подвержены влиянию солнечного и космического



излучения и атакам свободных электронов и ионов, что ведет к зарядке аэрозольных частиц. В свою очередь, аэрозольные частицы обуславливают полный баланс заряда в верхней атмосфере, так как они являются эффективным катализатором многих газохимических процессов в атмосфере. Показано, что основная роль аэрозольных частиц – способность к реорганизации окружающей ионосферной плазмы и, как следствие, к образованию новых ветвей низкочастотных электромагнитных колебаний, которые активно взаимодействуют с электромагнитным полем спутниковых сигналов и ведут к его искажению. Изучена специфика аэрозольных процессов в ионосфере, включая вопросы их образования и вывода из ионосферы, кинетику зарядки аэрозольных частиц в ионосфере и вопросы взаимодействия заряженных аэрозольных частиц с электромагнитным полем.

8.5 Комплексный анализ и визуализация новых данных методами геоинформатики

Общая, унифицированная ГИС была пополнена новыми геопространственными данными, полученными в 2022 г., и соответствующими метаданными:

1. данные глобальной модели литосферного магнитного поля Земли, обеспечивающей разложение по сферическим гармоникам до 1050 степени (рис. 8.15);
2. данные региональной модели теплового потока;
3. данные по экстремальным значениям количества осадков, скорости ветра и температуры за период 1980-2021 гг. (рис. 8.16);

Для проведения более детальных междисциплинарных исследований в базу геоданных были добавлены дополнительные разделы:

1. планы экономического и технологического развития Арктики в XXI веке;
2. вспомогательные слои данных по геологии, гидрологии, гляциологии и др.

В 2022 г. в базу геоданных было включено 150 новых слоев по 17 различным тематическим категориям. Объем добавленных данных составил 2,87 ГБ. Таким образом, на данный момент всего в базу включено более 200 слоев геоданных по 46 категориям, а общий объем ее составляет 3,67 ГБ. Был обновлен и расширен пользовательский интерфейс геопортала «Арктика» (<https://arctic-gis.gcras.ru/>), добавлены дополнительные инструменты взаимодействия с пространственными данными (рис. 8.17).

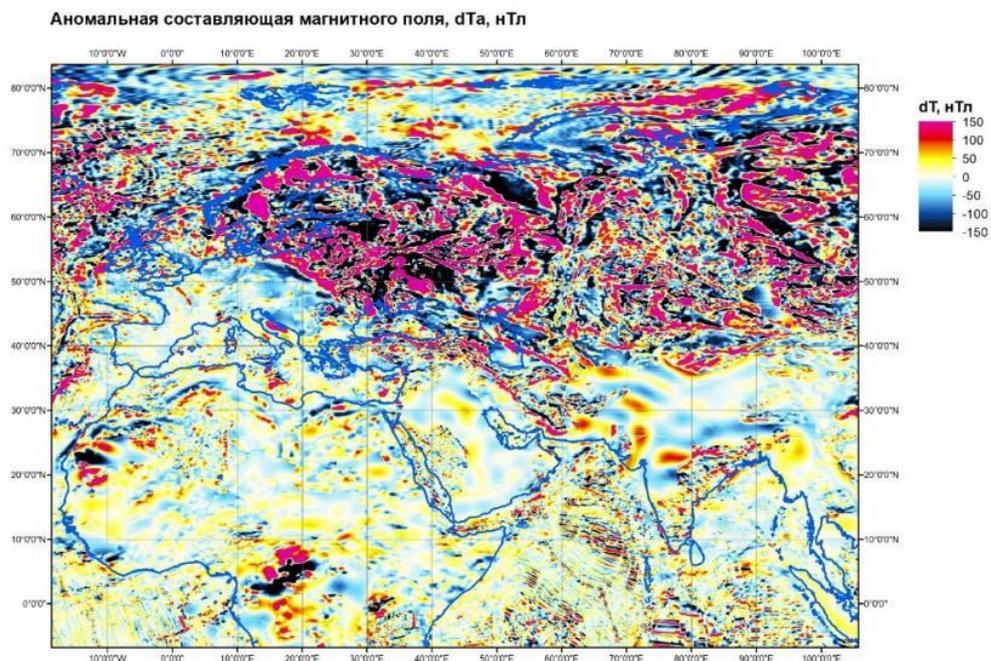


Рисунок 8.15 – Фрагмент карты аномальной составляющей магнитного поля, построенной по модели *Thébault et al., (2021)*

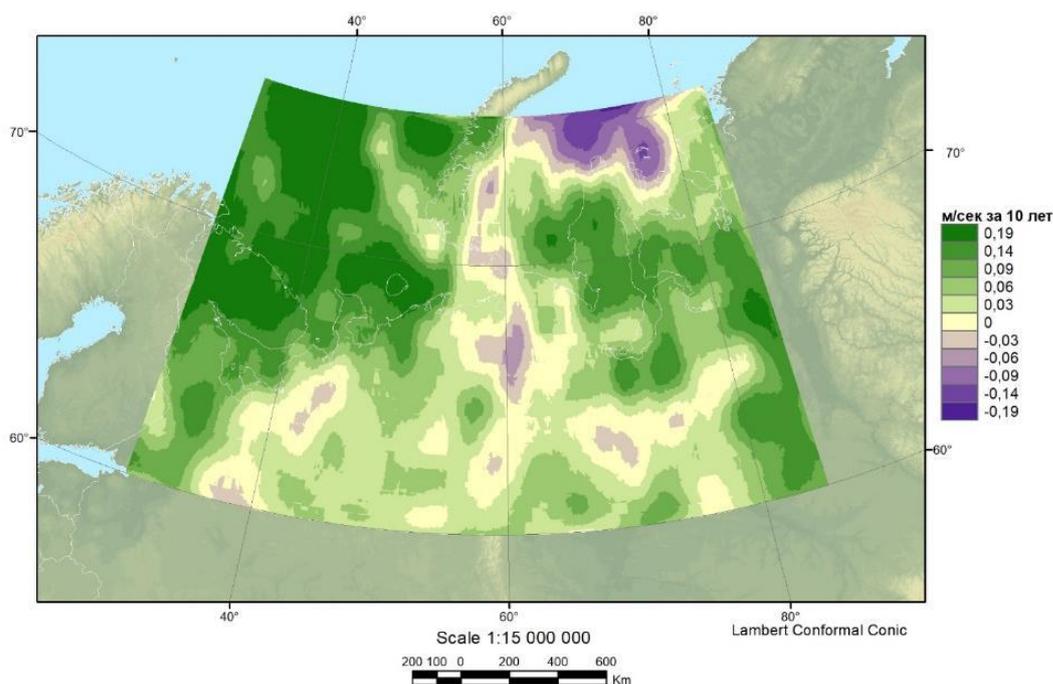


Рисунок 8.16 – Средняя скорость изменений амплитуды среднесуточных положительных аномалий модуля скорости ветра, превосходящих одно среднеквадратическое отклонение (м/сек за 10 лет)



24 российских ученых-лекторов, а также 47 слушателей – российских молодых ученых в возрасте до 35 лет включительно со всей России (рис. 8.19). На лекциях и семинарах Школы широко освещались вопросы геомагнетизма, литологии, сейсмологии, океанологии, климатологии, а также науки о данных применительно к арктическому региону (<https://school2022.gcras.ru/>). Для слушателей была организована деловая игра, посвященная созданию проекта программы научной экспедиции в Арктику. Для более эффективного общения со слушателями был запущен Telegram-канал Школы: <https://t.me/geoarctic>.



Рисунок 8.19 – Участники II Всероссийской школы молодых ученых

Список использованных источников

Thébault, E., Hulot, G., Langlais, B., & Vigneron, P. (2021). A spherical harmonic model of Earth's lithospheric magnetic field up to degree 1050. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL095147. DOI: 10.1029/2021GL095147



9 Исследование и совместная валидация информационных продуктов дистанционного зондирования Земли из разных источников для обмена информацией в странах БРИКС

Шифр темы: 19-55-80021 БРИКС_т

Регистрационный №: АААА-А20-120061690061-2

Руководитель: АААА-А20-120061690061-2

Ответственные исполнители: директор, чл.-кор. РАН А. А. Соловьев,
г.н.с., д.ф.-м.н. С. А. Лебедев

9.1 Валидация данных измерений геомагнитного поля

В работе впервые используются оцифрованные массивы скалярных наблюдений магнитного поля, которые выполнялись советскими спутниками Космос-49 и Космос-321, в исследовании сигналов внешних магнитных полей и динамики главного магнитного поля за 1964-1970 гг. Космос-49 функционировал 11 дней в течение осени 1964 г.; этот период пришелся на минимум солнечной активности между 19 и 20 циклами. Это обстоятельство делает данные Космоса-49 более пригодными для изучения сигналов главного МПЗ, поскольку они в меньшей степени были подвержены зашумленности от внешних полей. Космос-321 проработал 53 дня в зимне-весенний период 1970 г., который приходился на максимум солнечной активности 20-го цикла, что делает их ценным материалом для изучения магнитосферных и ионосферных магнитных полей. Наоборот, для изучения главного МПЗ эти данные должны быть существенным образом отфильтрованы для очистки от сигналов внешних полей.

9.1.1 Исследование геомагнитных спутниковых данных во время сильной магнитной бури 8-9 марта 1970 г.

За 53-дневный период функционирования спутника Космос-321 имела место сильная геомагнитная буря, которая произошла 8-9 марта 1970 г. Об этом свидетельствуют значения Dst-индекса, опустившиеся почти до - 300 нТл. Данное событие довольно редкое с точки зрения наличия спутниковых наблюдений. Основным триггером глобальных магнитных возмущений служат отрицательные значения вертикальной компоненты B_z межпланетного магнитного поля. С 7 по 8 марта она испытывала сильные флуктуации, достигая пикового отрицательного значения - 20 нТл в районе 20 UT 8 марта. Предшествовал этому резкий скачок скорости солнечного ветра SWs с 500 до 800 км/с в районе 9-11 UT того же дня. Он же привел к стремительному повышению плотности плазмы солнечного ветра SWn с 0 до 50 см⁻³ в районе 19-20 UT. Изменения всех этих параметров являются показательными предвестниками геомагнитной бури (рис. 9.1а).

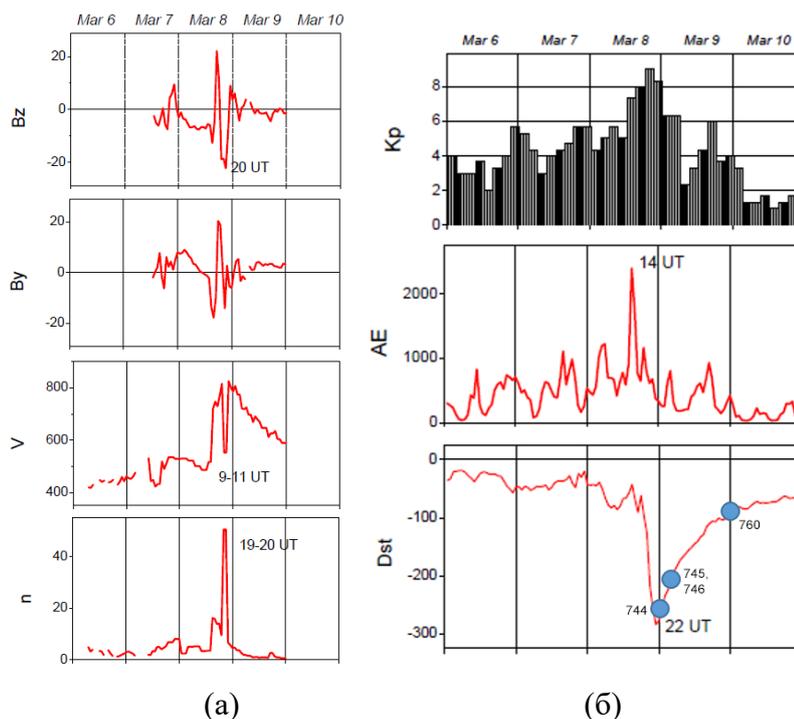


Рисунок 9.1 – Параметры межпланетного магнитного поля и солнечного ветра: компоненты B_z и B_y , скорость и плотность плазмы (а); индексы геомагнитной активности K_p , AE и Dst (б). Все данные приведены за период 6-10 марта 1970 г.

Рассмотрим за 6-10 марта 1970 г. значения индексов геомагнитной активности, которые вычисляются по наземным наблюдениям магнитного поля, отражающие (1) уровень геомагнитной возмущенности в планетарном масштабе (K_p -индекс), (2) интенсификацию токов вдоль границ аврорального овала в полярной шапке ионосферы (AE -индекс) и (3) интенсивность кольцевого тока (Dst -индекс) (рис. 8.1б). С 6 марта наблюдался уверенный рост значений K_p -индекса с 3 баллов до 8,5 (максимальное значение K_p -индекса 9), которое было достигнуто к 20-21 UT 8 марта, после чего последовали довольно резкий спад до середины 9 марта и снова всплеск до 6 баллов в районе 17 UT того же дня. Анализируя значения Dst -индекса можно наблюдать характерное для масштабной бури бухтообразное ослабление магнитного поля до почти -300 нТл в районе 22 UT 8 марта, совпадающее по времени с пиковым значением K_p -индекса. Этот период характеризует главную фазу геомагнитной бури, после которой наблюдается медленная фаза восстановления. На данных AE -индекса наблюдаются два изолированных пика – в районе 14 UT 8 марта и в районе 17 UT 9 марта. Первый пик ~ 2300 нТл связан с общей активизацией электромагнитных процессов в полярной шапке, второй, составляющий ~ 900 нТл, – с активизацией суббуревой активности на фоне восстановительной фазы бури.



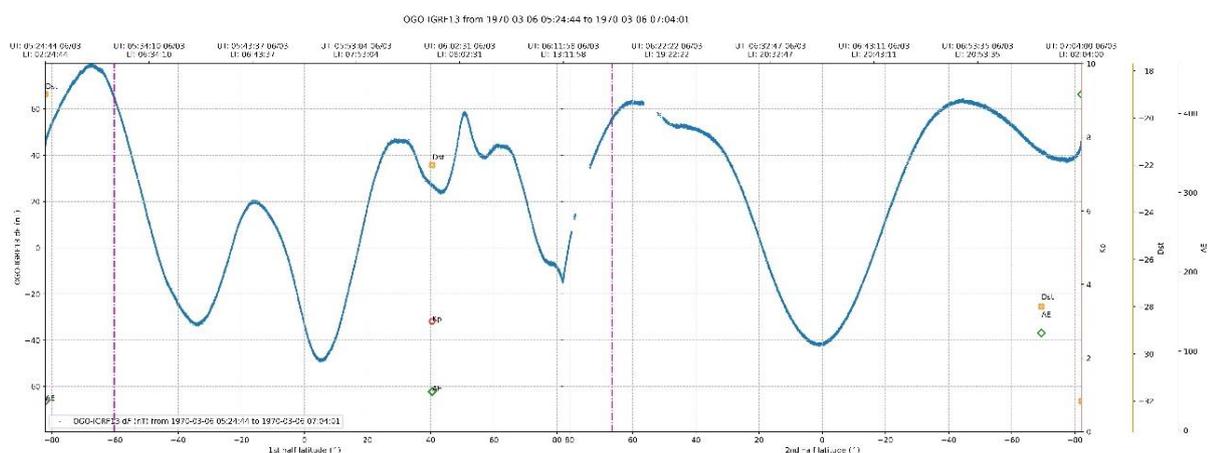
В самих каталогах данных наблюдения Космоса-321 за 6-10 марта обнаружены не были. О них есть информация только иллюстративного характера в [Долгинов и др., 1972], которая использовалась в качестве вспомогательной. Для подробного изучения этого события путем современной обработки спутниковых наблюдений единственным вариантом остается использовать оцифрованные данные аналогичной спутниковой миссии OGO-6 [Jackson and Vette, 1975], выведенной на полярную орбиту в тот же период времени. Для разделения вкладов приполярных ионосферных токовых систем на ночной/дневной стороне в северном/южном полушарии времена отсчетов из UT были преобразованы в местное время (LT). Поскольку интерес представляет только возмущенная составляющая поля, из наблюдений был вычтен вклад главного поля согласно модели IGRF [Alken et al., 2021]. Таким образом, результирующая величина dF содержит в себе вклад внешних источников.

9.1.2 Идентификация магнитных вариаций, создаваемых в околоземном пространстве различными источниками

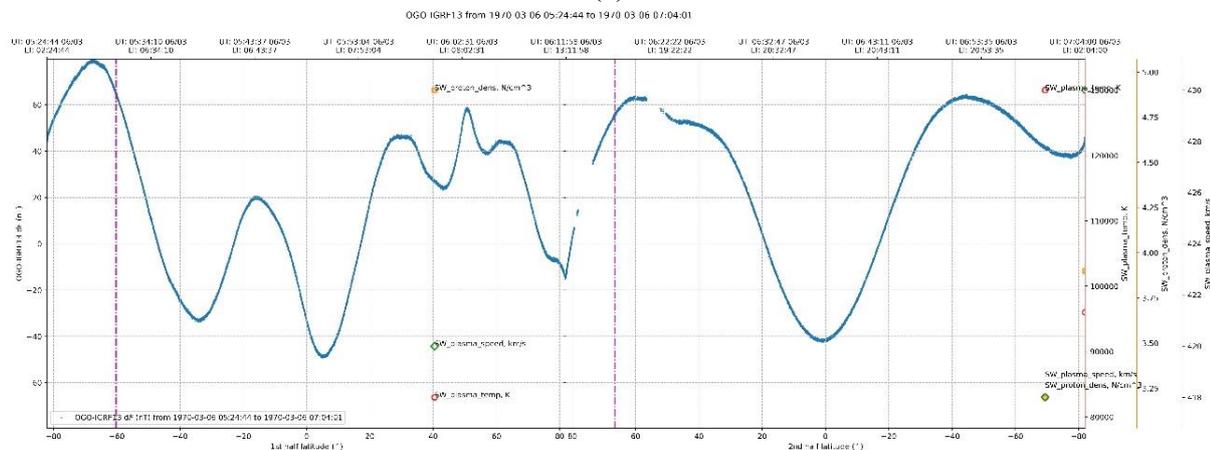
Сначала рассматривались графики dF , построенные для полного витка спутника OGO-6 за выбранные геомагнитно-спокойные периоды непосредственно до (виток $q1$, рис. 9.2) и после (виток $q2$, рис. 9.3) бури 8-9 марта 1970 г. За период 6-10 марта 1970 г. орбита спутника проходила через утренний и вечерний пояса местного времени. При анализе dF за период пониженной магнитной активности отчетливо прослеживается сигнал экваториального электроджета, который представляет собой токовую систему, текущую в ионосфере на высоте около 108 км вдоль геомагнитного экватора и наиболее отчетливо проявляющуюся в районе местного полудня. Этот ток генерируется в результате динамо-процесса, а магнитные измерения экваториального электроджета позволяют изучать движение плазмы в низких широтах в областях E и F ионосферы. Эта токовая система проявляется в виде снижения напряженности магнитного поля над ионосферой на несколько десятков нТл с резким отрицательным пиком этой аномалии, очень близким к положению геомагнитного экватора. В случае витка $q1$ он приходится на 6 градусов СШ в утреннем секторе, достигая - 50 нТл, и 0 градусов в вечернем секторе, достигая - 40 нТл. В случае витка $q2$ пику соответствуют еще меньшие значения напряженности поля. В утреннем секторе он приходится на ~ 0 градусов, достигая - 65 нТл, а в вечернем секторе – на 6 градусов СШ, достигая - 75 нТл. Это обусловлено тем, что на витке $q2$ спутник находился во время восстановительной фазы бури 8-9 марта 1970 г., в течение которой, несмотря на общий спад геомагнитной активности (индекс $Kp \sim 1$), более масштабный кольцевой ток магнитосферы по-прежнему был достаточно



силен ($Dst \sim -73,5$ нТл по сравнению с $Dst \sim -24$ нТл для витка $q1$), внося свой вклад в наблюдения. Это также приводит к широтному «размазыванию» соответствующей аномалии, что делает пик менее четким. Сигнал экваториального электроджета, обнаруженный при пролетах спутника над всеми долготными секторами экватора на дневной стороне, среди прочего, может быть использован для точного определения положения всего геомагнитного экватора на высоте ионосферы. В свою очередь, эта информация может быть использована для минимизации так называемого «эффекта Бакуса» при построении точных моделей главного МПЗ только по скалярным данным.



(a)



(б)

Рисунок 9.2 – График возмущенной составляющей поля dF , построенный для витка $q1$ спутника OGO-6. Время UT и местное время LT указаны на шкале сверху, широта положения спутника – на шкале снизу, фиолетовые вертикальные линии отмечают место пересечения условного терминатора (смены дневной стороны на ночную и наоборот). Зеленым ромбом на графике отмечены значения индекса AE (временное разрешение исходных данных – 1 час), красным кругом отмечен индекс K_p (разрешение исходных данных – 3 часа), желтым крестиком отмечен индекс Dst (разрешение исходных данных – 1 час) (а). Зеленым ромбом на графике отмечены значения скорости солнечного ветра AE, красным кругом – температуры плазмы, желтым крестиком – плотности протонов (разрешение всех этих данных – 1 час) (б). Легенда и шкала к каждому из геомагнитных индексов и параметров солнечного ветра находятся справа от графика

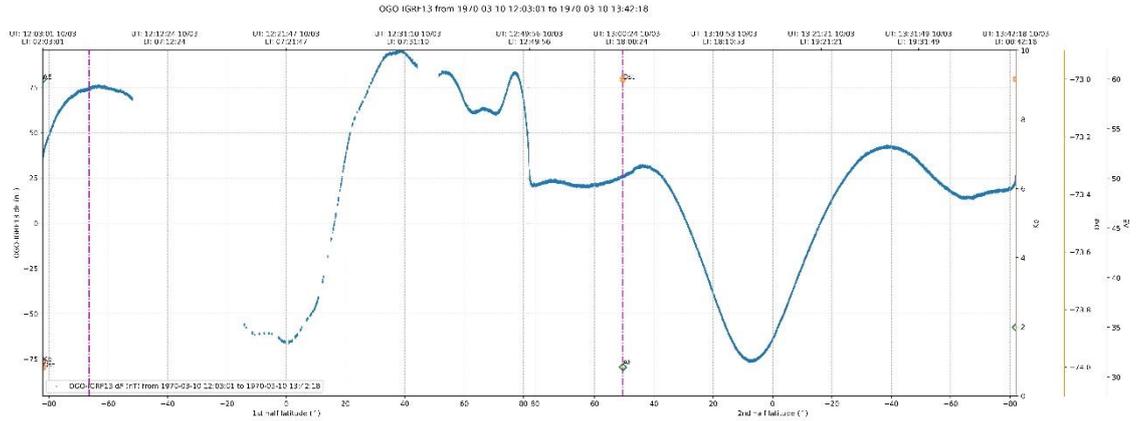
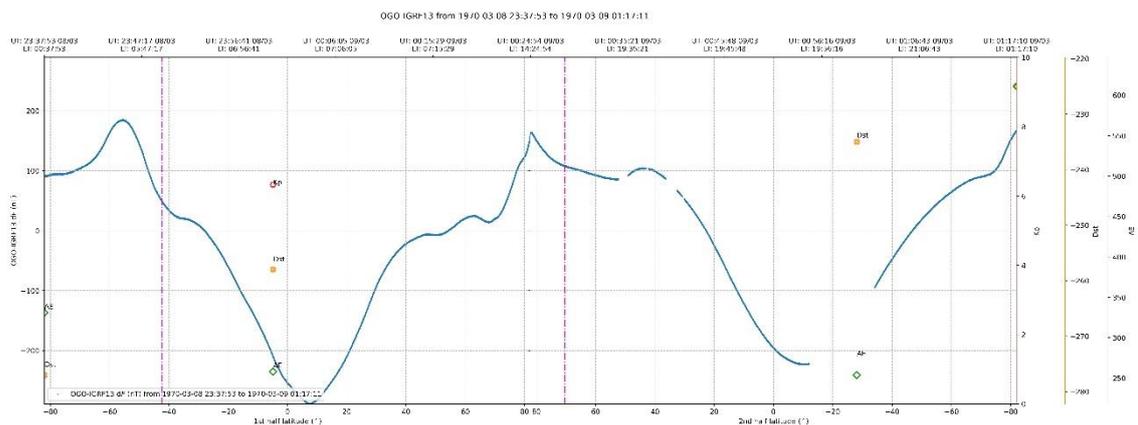
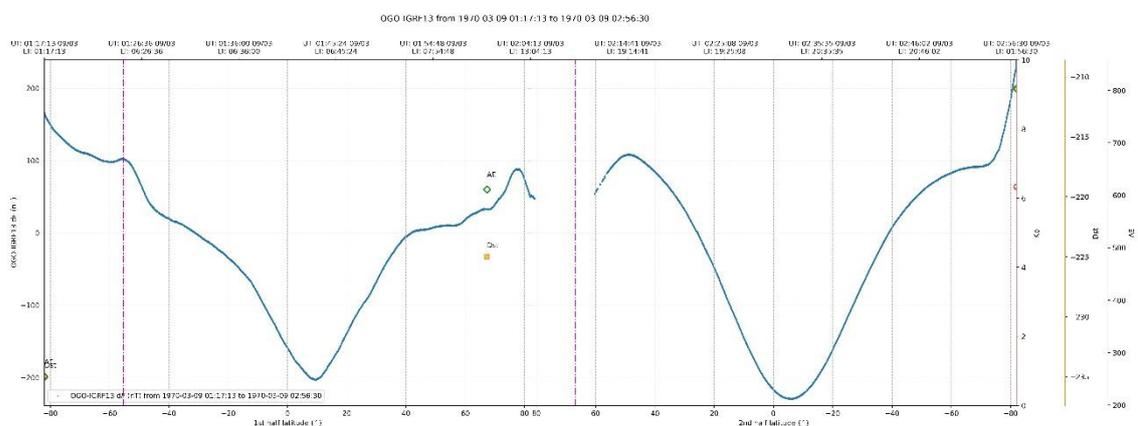


Рисунок 9.3 – График возмущенной составляющей поля dF , построенный для витка $q2$ спутника OGO-6. Обозначения аналогичны предыдущему рисунку

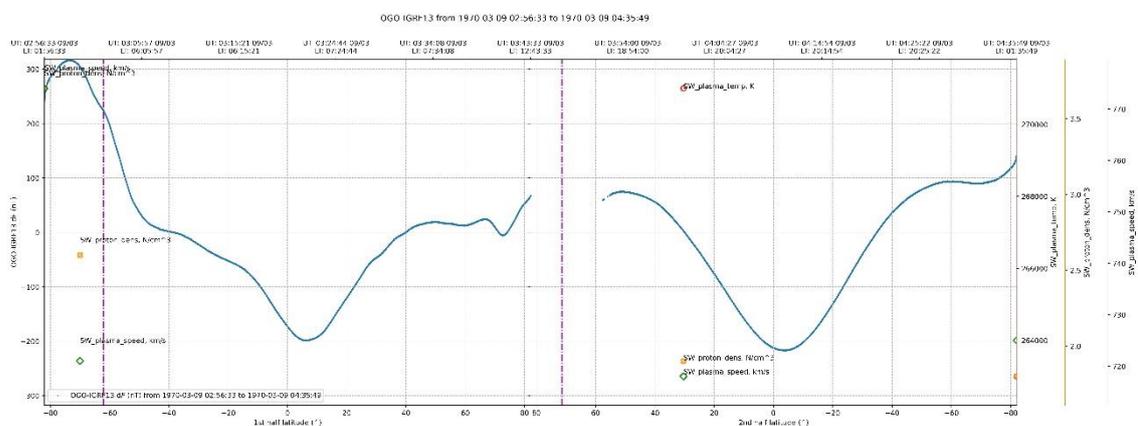
Для изучения геомагнитных возмущений во время бури 8-9 марта 1970 г. нами были отобраны данные полных витков спутника OGO-6, которые по времени максимально соответствовали виткам 744, 745, 746 и 760 спутника Космос-321. Обозначим эти витки спутника OGO-6, соответственно, d1, d2, d3, d4. На графиках dF (рис. 9.4) четко прослеживается усиление кольцевого тока, сопровождающее главную фазу бури. В приэкваториальных широтах значения dF опускаются до отметки почти - 300 нТл, что соответствует минимальным значениям Dst-индекса. Отдельного внимания заслуживают данные, полученные за виток d4 (22:48 UT 9/3 – 00:17 UT 10/3) сразу после активизации суббуревой активности, пик которой пришелся на ~ 17 UT 9 марта ($Kp \sim 6$, AE ~ 900 нТл). С 23:26 по 23:45 UT 9 марта спутник как раз пересекал полярную шапку северного полушария, перемещаясь с утреннего сектора на вечерний. На графике dF на соответствующих широтах наблюдается схожая морфология геомагнитных возмущений, как и в аналогичных данных спутника Космос-321 за виток 760, полученных примерно в это же время, с 00:12 по 00:26 UT 10 марта, при пересечении спутником южной полярной шапки (данные приведены в [Долгинов и др., 1972]). Эти данные соответствуют фазе затухания суббуревой активности (AE ~ 350 нТл). В этот период кольцевой ток ослаб (Dst ~ - 90 нТл) и заметная асимметрия отсутствует, что позволяет более точно выделить эффекты полярных электроджетов.



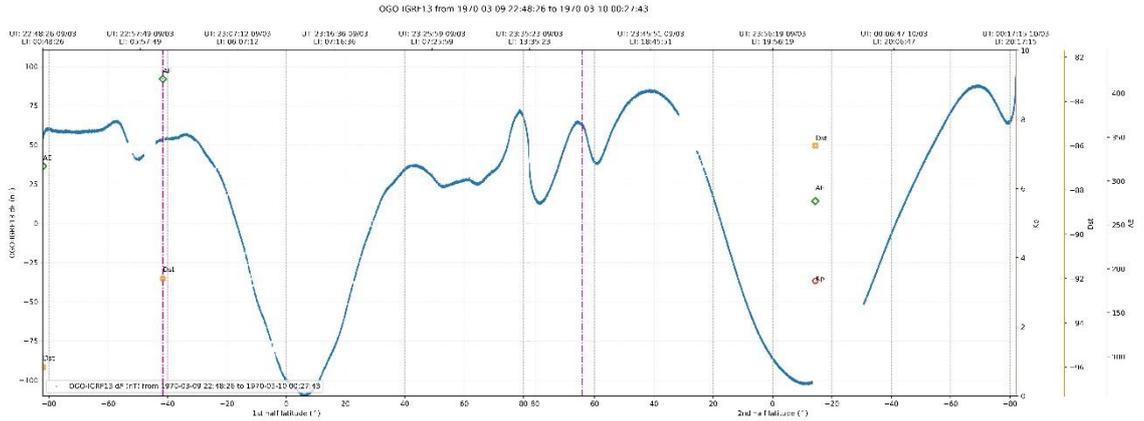
(a)



(b)



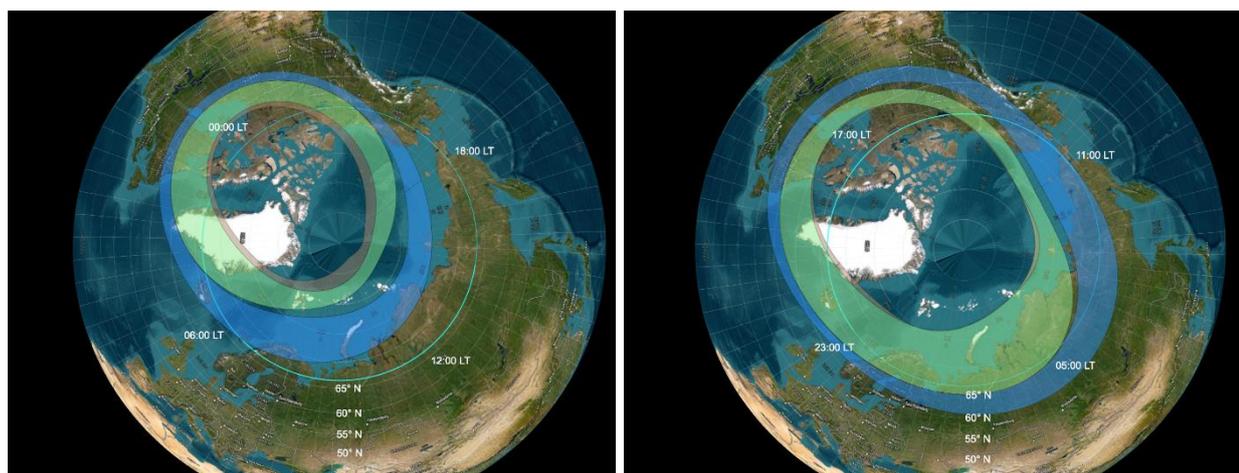
(B)



(г)

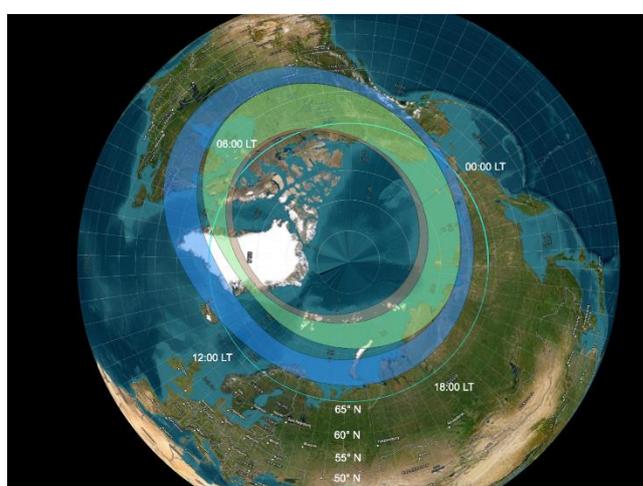
Рисунок 9.4 – Графики возмущенной составляющей поля dF , построенные для витков d1 (а), d2 (б), d3 (в) и d4 (г) спутника OGO-6. Обозначения аналогичны предыдущему рисунку

Для оценки взаимного расположения траектории спутника и аврорального овала были построены карты в полярной проекции, отражающие морфологию и границы аврорального овала на момент витков $q1$, $d4$ и $q2$ (рис. 9.5). В основе построенных карт лежит модель авроральных высыпаний (APM – Auroral Precipitation Model). Стремительный рост возмущенности dF в районе 70 градусов СШ на восходящей траектории спутника соответствует пересечению экваториальной границы электроджета в районе 7:30 LT при движении спутника к полюсу. При этом максимум плотности электроджета (два пика dF в районе 80 и 65 градусов СШ) располагается ближе к приполюсной границе овала, которую спутник пересек дважды. Спад локализованных возмущений dF в районе 60 градусов СШ на нисходящей траектории спутника соответствует повторному пересечению экваториальной границы полярного электроджета. Во время витка $q1$, который предшествовал магнитной буре, геомагнитная активность была минимальной, что отразилось на наиболее сжатой области аврорального овала. Во время витка $q2$, который пришелся на заключительную фазу бури, область аврорального овала несколько расширена ввиду остаточных эффектов геомагнитной активности в виде все еще повышенных по модулю значений Dst-индекса и сохраняющихся небольших флуктуаций AE-индекса.



(a)

(б)



(в)

Рисунок 9.5 – Области аврального овала (зеленый), диффузных высыпаний (синий) и мягких диффузных высыпаний (красный) на 6 марта 1970 г. 06:00 UT (~ виток $q1$, а), 9 марта 1970 г. 23:00 UT (~ виток $d4$, б) и 10 марта 1970 г. 12:00 UT (~ виток $q2$, в).

Карты приведены в координатах «географическая широта» - «местное время».

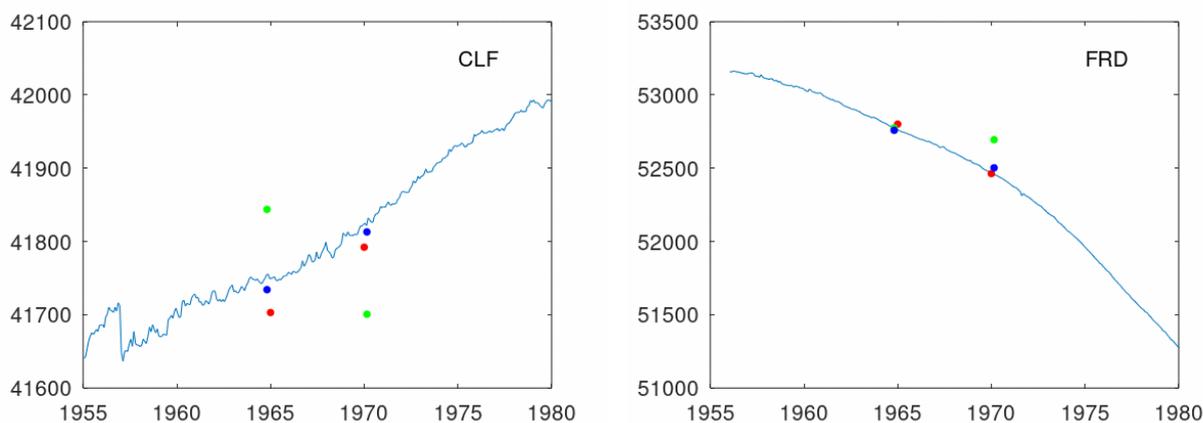
Полярный круг отмечен бирюзовым. Карты построены согласно модели авральных высыпаний (APM – Auroral Precipitation Model) [Пилипенко, 2021]

9.1.3 Проведение сравнения исторических спутниковых наблюдений магнитного поля с записями доступных наземных магнитометров

Прямые спутниковые измерения МПЗ 1960-1970-х годов обеспечивали только скалярные данные полной напряженности поля (модуля его вектора). Модели главного МПЗ, построенные по данным спутников Космос-49 и Космос-321, описывают полный вектор поля и, соответственно, помимо модуля МПЗ позволяют вычислять значения всех трех компонент. Поскольку именно модели используются в исследованиях динамики главного МПЗ, а не первичные данные наблюдений, ключевым фактором является точность прогноза, обеспечиваемого той или иной моделью. Валидация моделей,

построенных по спутниковым данным, может быть проведена путем сравнения модельных значений поля с высокоточными наземными наблюдениями МПЗ, обеспечиваемыми магнитными обсерваториями, которые дают возможность изучать вековой ход (ВХ) магнитного поля и могут использоваться в качестве калибровочных значений для спутниковых наблюдений и построенных на их основе моделей. Валидация проводилась для следующих моделей, построенных на основе данных указанных спутников: М-1 [Долгинов и др., 1967], М-2 [Долгинов и др., 1976], N-1 и N-2 [Soloviev, Peregoudov, 2022]. Также, проводилось сравнение наземных данных с модельными значениями поля согласно эталонной модели IGRF. Для валидации были отобраны данные девяти среднеширотных обсерваторий в обоих полушариях за период 1955-1980 гг., покрывающий рассматриваемые 1964 и 1970 гг., за которые выполнялись спутниковые измерения. Данные приэкваториальных и высокоширотных обсерваторий не рассматривались, поскольку они в большей степени отягощены влиянием внешних магнитных полей, обусловленных экваториальным и полярными электроджетами.

Предварительная обработка данных обсерваторий включала линейную интерполяцию пропусков, ежемесячное усреднение и корректировку с учетом поправки за локальные магнитные аномалии [Verbanac et al., 2015]. Сравнение проводилось на данных Z-компоненты МПЗ, которая в меньшей степени подвержена влиянию внешних полей. Соответствующие модельные значения были рассчитаны для точек расположения рассматриваемых обсерваторий за 1964 и 1970 гг. Далее оценивалось, насколько близки модельные значения к непрерывным рядам данных Z-компоненты, измеренных на обсерваториях (рис. 9.6). Для оценки расхождения модельного ВХ и фактического ВХ, полученного по обсерваторским данным, рассчитывался модуль их разности ($\Delta ВХ$) (табл. 9.1).



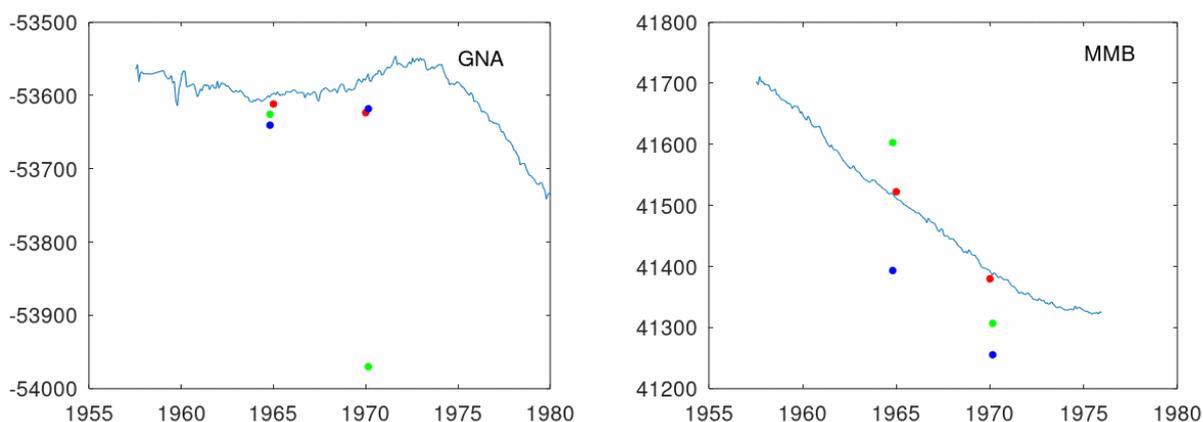


Рисунок 9.6 – Z-компонента геомагнитного поля по непрерывным данным некоторых обсерваторий за 1955-1980 гг. и спрогнозированная различными моделями за 1964 и 1970 гг. IAGA-коды обсерваторий указаны в углу графиков. Голубой линией показаны среднемесячные обсерваторские данные, красным – значения модели IGRF на начало 1965 и 1970 гг., зеленым – значения моделей M-1 и M-2, синими – значения моделей N-1 и N-2 за 1964 и 1970 гг.

Таблица 9.1 – Сравнение прогнозного ВХ Z-компоненты на основе моделей IGRF, M-1,2 и N-1,2 с фактическим ВХ по обсерваторским данным. Все значения приведены в нТл/год

Обсерватория, ВХ		IGRF		M-1,2		N-1,2	
		ВХ	ΔВХ	ВХ	ΔВХ	ВХ	ΔВХ
MMB	-23,40	-28,53	5,13	-55,54	32,14	-25,89	2,49
ТКТ	-22,85	-25,76	2,91	1,31	24,16	-17,96	4,89
CLF	14,25	17,84	3,59	-26,83	41,08	14,77	0,52
FRD	-60,42	-67,54	7,12	-14,96	45,46	-48,04	12,38
VIC	-20,39	-23,62	3,23	-56,96	36,57	-14,09	6,3
GNA	5,19	-2,39	7,58	-64,63	69,82	4,22	0,97
PAF	13,69	4,09	9,60	26,94	13,25	16,72	3,03
HER	95,07	85,40	9,67	44,34	50,73	122,33	27,26
PIL	1,42	-4,99	6,41	210,70	209,28	13,30	11,88

Для большинства обсерваторий фактический ВХ очень хорошо аппроксимируется новыми моделями N-1/N-2, несмотря на сильные отличия в количестве и пространственном распределении между отобранными данными спутников Космос-49 и Космос-321. В некоторых случаях ВХ по новым моделям трассируется более точно (соответствующие значения ΔВХ меньше), чем по эталонной модели IGRF. Наихудший прогноз по новым моделям N-1/N-2 наблюдается в районе 1970 г. для территории ЮАР (обсерватория HER),



что обусловлено недостатком исходных данных Космоса-321 в этом регионе. В ряде случаев наблюдается высокое соответствие между всеми тремя моделями. Однако в большинстве случаев имеют место недопустимые отклонения прогнозных значений по моделям М-1 и М-2 от фактического ВХ, что делает эти исторические модели неприменимыми для изучения ВХ за рассматриваемый период.

9.2 Валидация альтиметрических измерений

В части работ по валидации альтиметрических измерений разработана архитектура и состав базы данных альтиметрических измерений серии российских спутников Гео-ИК-1 № 1-9. Все данные разбиты на треки: восходящие (четные номера) и нисходящие (четные номера); сохранены изначальная разбивка по 5 дневным циклам и номера спутников. Вся эта информация содержится в названии файла. В качестве дополнительной информации в него включено время начала и окончания трека. Каждый трек содержит следующие параметры: время, координаты точки измерения, высоту орбиты, высоту морской поверхности, высоты геоида (модели ПЗ-90.11 и EGM 2008), высоты океанических приливов (модели GOT4.8 и FES2014), нагрузка на океаническое дно (модель GOT4.8 и FES2014), высота полюсного прилива, высота прилива в земной коре (модель ATLANTIDA3.1_2014), поправки (на «сухую» атмосферу – реанализ MERRA-2, на влажность – реанализ MERRA-2 и данные СВЧ-радиометра SSM/I, на ионосферу – модель IRI2007), поправка обратного барометра – реанализ MERRA-2, признак подстилающей поверхности, номер спутника). Общая длина записи составила 62 байта.

Для временного интервала работы спутника Гео-ИК-1 № 1 (08.07.85 – 31.10.86) (10 958 треков, 343 568 байт) для создания массива данных о точках пересечения треков спутника GEOSAT были выбраны циклы 006–025 геодезической программы (12 687 треков, 3 835 958 608 байт). Полученный массив данных содержит 7 485 точек пересечения, который содержит данные измерений альтиметра спутников Гео-ИК-1 № 1 и GEOSAT, время измерений и координаты, а также по данным реанализа MERRA-2 рассчитаны поправки на тропосферу («сухая» поправка и поправка на влажность), а по моделям IRI2007 и NIC09 – поправка на ионосферу. Проведена верификация поправок на тропосферу и ионосферу в точках пересечения треков спутника GEOSAT и спутника Гео-ИК-1 № 1. Средняя суммарной поправки (сумма этих поправок) в этих точка составила 20,45 см.

Список использованных источников

Долгинов Ш.Ш., Наливайко В.И., Тюрмин А.В., Чинчевой М.М., Бродская Р.Е., Злотин Г.Н., Кикнадзе И.Н., Тюрмина Л.О. Каталог измеренных и вычисленных значений модуля напряженности геомагнитного поля вдоль орбит спутника Космос-49. АН СССР. ИЗМИРАН. Москва. СССР. 1967

Долгинов Ш.Ш., Жигалов Л.Н., Струнникова Л.В., Фельдштейн Я.И., Черевко Т.Н.,



Шарова В.А.. Магнитная буря 8-10 марта 1970 г. по наблюдения на спутнике «Космос-321» и на поверхности Земли. I. Морфология возмущения // Геомагнетизм и аэрономия. Том XII. №6. 1972. С. 1046-1058

Долгинов Ш.Ш., Козлов А.Н., Колесова В.И., Косачева В.П., Наливайко В.И., Струнникова Л.И., Тюрмин А.И., Тюрмина Л.О., Фастовский У.В., Черевко Т.Н., Алексакин Е.П., Вельчинская А.С., Гаврилова Е.А., Покрас В.И., Сеницын В.И., Яговкин А.П. Каталог измеренных и вычисленных значений модуля напряженности геомагнитного поля вдоль орбит спутника Космос-321. М.: Наука, 1976

Пилипенко В.А. Воздействие космической погоды на наземные технологические системы // Солнечно-земная физика. 2021. №. 3. С. 73-110. <https://doi.org/10.12737/szf-73202106>

Alken P., Thébaud E., Beggan C.D. et al. (2021). International Geomagnetic Reference Field: the thirteenth generation. Earth Planets Space 73, 49. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01288-x>

Jackson J.E., Vette J.I., OGO Program Summary, NASA SP-7601 (1975)

Soloviev A.A., Peregoudov D.V. (2022). Verification of the geomagnetic field models using historical satellite measurements obtained in 1964 and 1970. Earth Planets Space 74, 187 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01749-5>

Verbanac G., Manda M., Bandic M., Subasic S. (2015). Magnetic observatories: biases over CHAMP satellite mission. Solid Earth, 6(2), 775-781

10 Системный анализ особенностей характера распространения COVID-19 для стран Европы и регионов России

Грант РФФИ № 20-57-82003 ИИАСА
Регистрационный №: 121032900088-0
Руководитель: академик РАН А.Д. Гвишиани

10.1 Результаты визуального анализа

В рамках проекта оценивается течение пандемии в 5 субъектах РФ [Yandex DataLens, 2023]: г. Москва (рис. 10.1), г. Санкт-Петербург (рис. 10.2), г. Севастополь (рис. 10.3), Респ. Крым (рис. 10.4), Калининградская обл. (рис. 10.5) – и в Австрийской Респ. (рис. 10.6) [GitHub, 2023]. На соответствующих регионам рисунках приведены графические визуализации временных рядов количества новых случаев COVID-19 заражений (раздел а), выздоровлений (раздел б) и смертей (раздел в) за день во временном диапазоне с 12.03.2020 по 01.11.2022 (965 дней). Также для каждого из избранных субъектов РФ вычислен и визуализирован временной ряд общего числа зараженных на дату, нормированный на 100 тыс. населения субъекта (раздел г).

Пики июня 2021 г., наблюдаемые на графических визуализациях рядов количества новых случаев смертей за день в г. Москва (рис. 10.1в), г. Санкт-Петербург (рис. 10.2в), а также начавшийся с этого месяца устойчивый рост общего числа зараженных на дату по г. Севастополю (рис. 10.3г) и Респ. Крым (рис. 10.4г), хронологически соответствуют штамму «дельта», для которого характерна высокая смертность [Adjei et al, 2022].

Пики на рубеже 2021 и 2022 годов, наблюдаемые во всех субъектах РФ на графических визуализациях рядов количества новых случаев заражений (рис. 10.1-10.5а) и выздоровлений (рис. 10.1-10.5а), хронологически соответствуют штамму «омикрон», для которого характерна высокая заболеваемость и выздоравливаемость, а также низкая смертность, что подтверждается исследованиями [Скляр, 2022; Adjei et al, 2022].

10.2 Результаты статистического анализа

10.2.1 Корреляционный анализ временных рядов

Ввиду выраженной положительной корреляции между временными рядами количества новых случаев заражений, выздоровлений и смертей за день для г. Москвы и г. Санкт-Петербурга можно наблюдать схожий набор ключевых ограничительных мер из записей ВОЗ [World Health Organization, 2019] в схожих диапазонах времени: введение и контроль режима самоизоляции, закрытие мест общественного питания и ограничение по времени работы мест досуга. Слабо выраженная корреляция между временными рядами количества новых случаев заражений и смертей за день между любым из субъектов РФ и Австрийской Респ. говорит о различии течения пандемии в сравниваемых регионах.

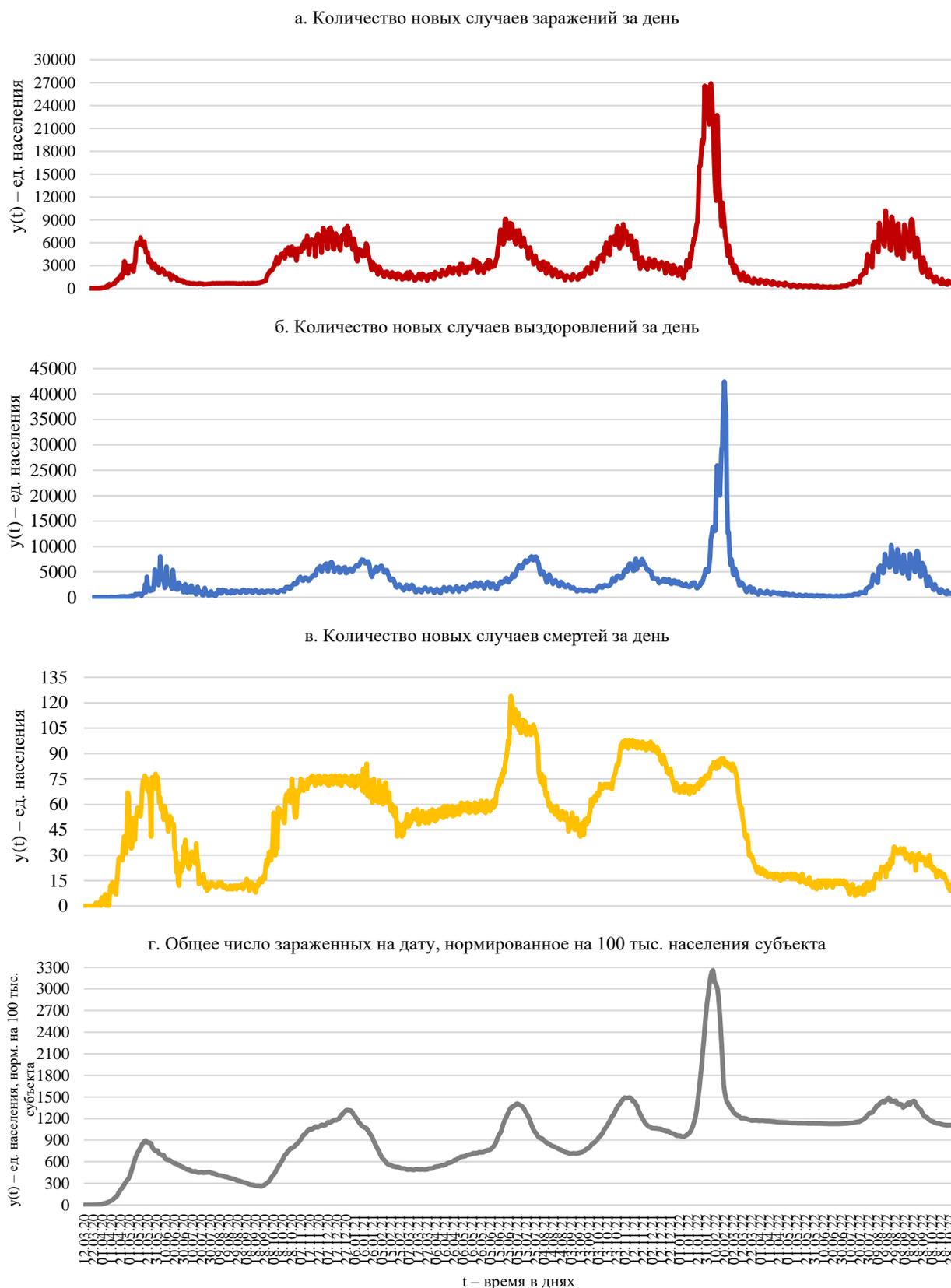


Рисунок 10.1 – Ряды количества новых случаев COVID-19 (а) заражений, (б) выздоровлений, (в) смертей за день и (г) общего числа зараженных на дату по г. Москве с 12 марта 2020 г. по 01 ноября 2022 г.

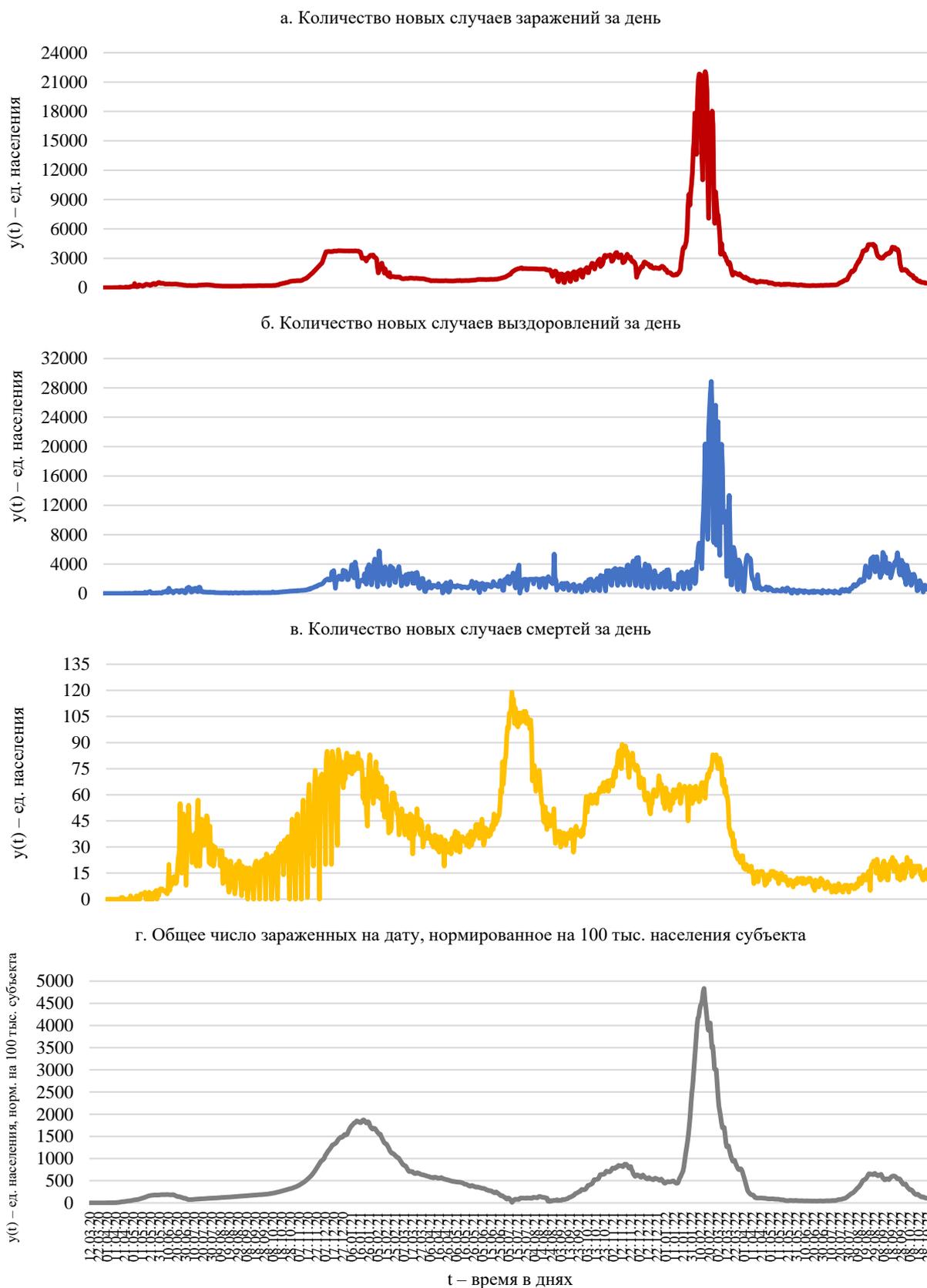


Рисунок 10.2 – Ряды количества новых случаев COVID-19 (а) заражений, (б) выздоровлений, (в) смертей за день и (г) общего числа зараженных на дату по г. Санкт-Петербургу с 12 марта 2020 г. по 01 ноября 2022 г.

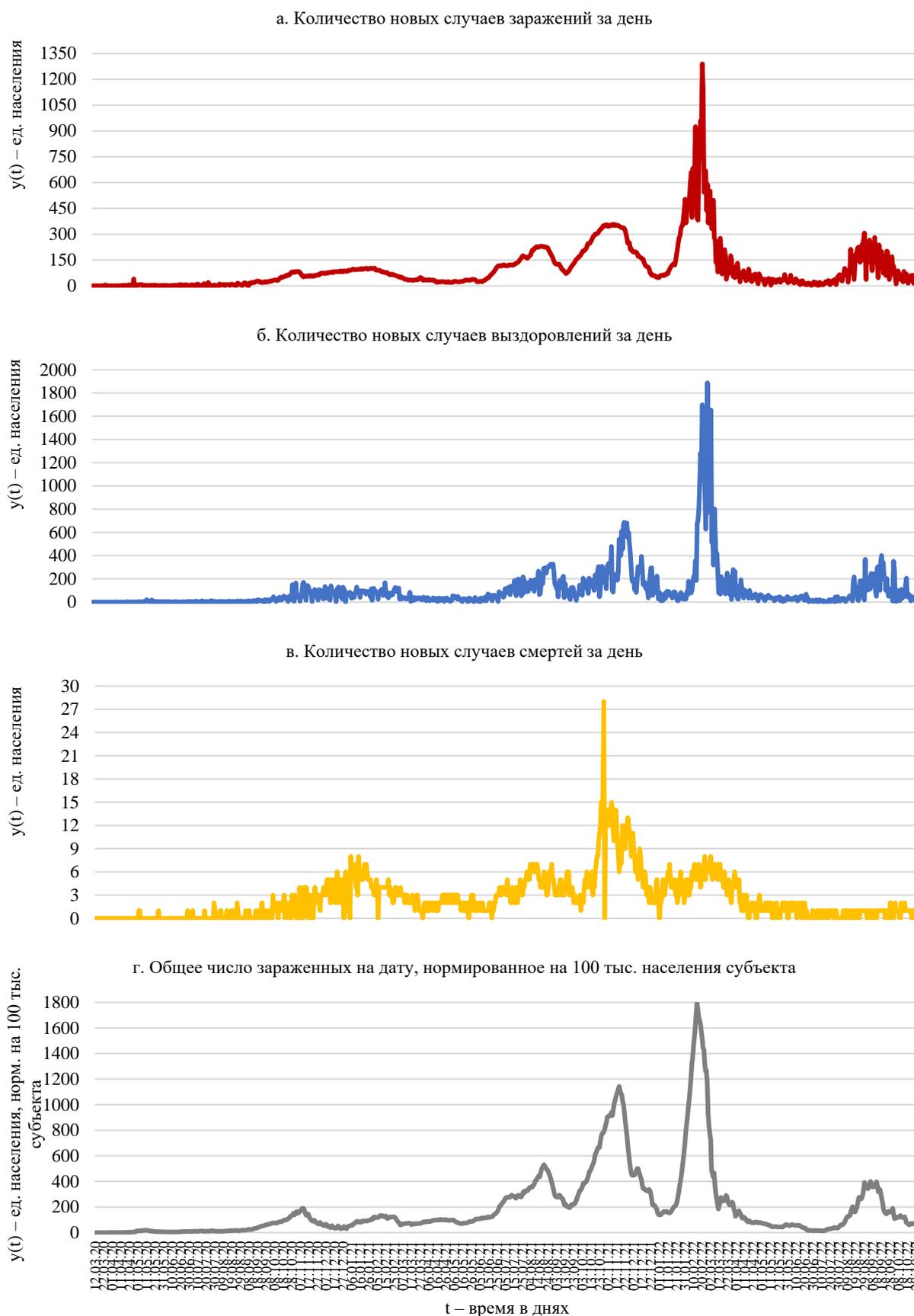


Рисунок 10.3 – Ряды количества новых случаев COVID-19 (а) заражений, (б) выздоровлений, (в) смертей за день и (г) общего числа зараженных на дату по г. Севастополю с 12 марта 2020 г. по 01 ноября 2022 г.

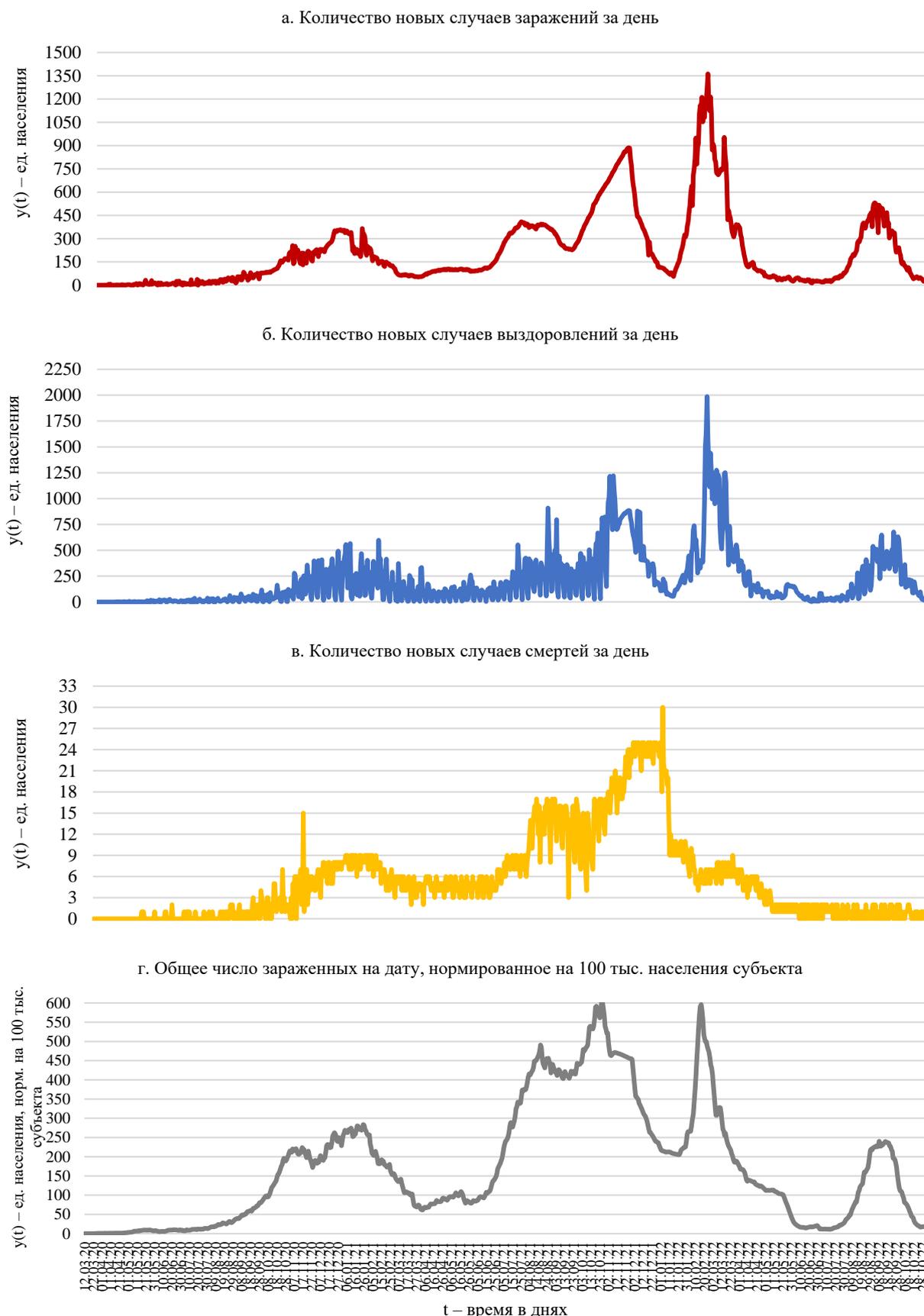


Рисунок 10.4 – Ряды количества новых случаев COVID-19 (а) заражений, (б) выздоровлений, (в) смертей за день и (г) общего числа зараженных на дату по Респ. Крым с 12 марта 2020 г. по 01 ноября 2022 г.

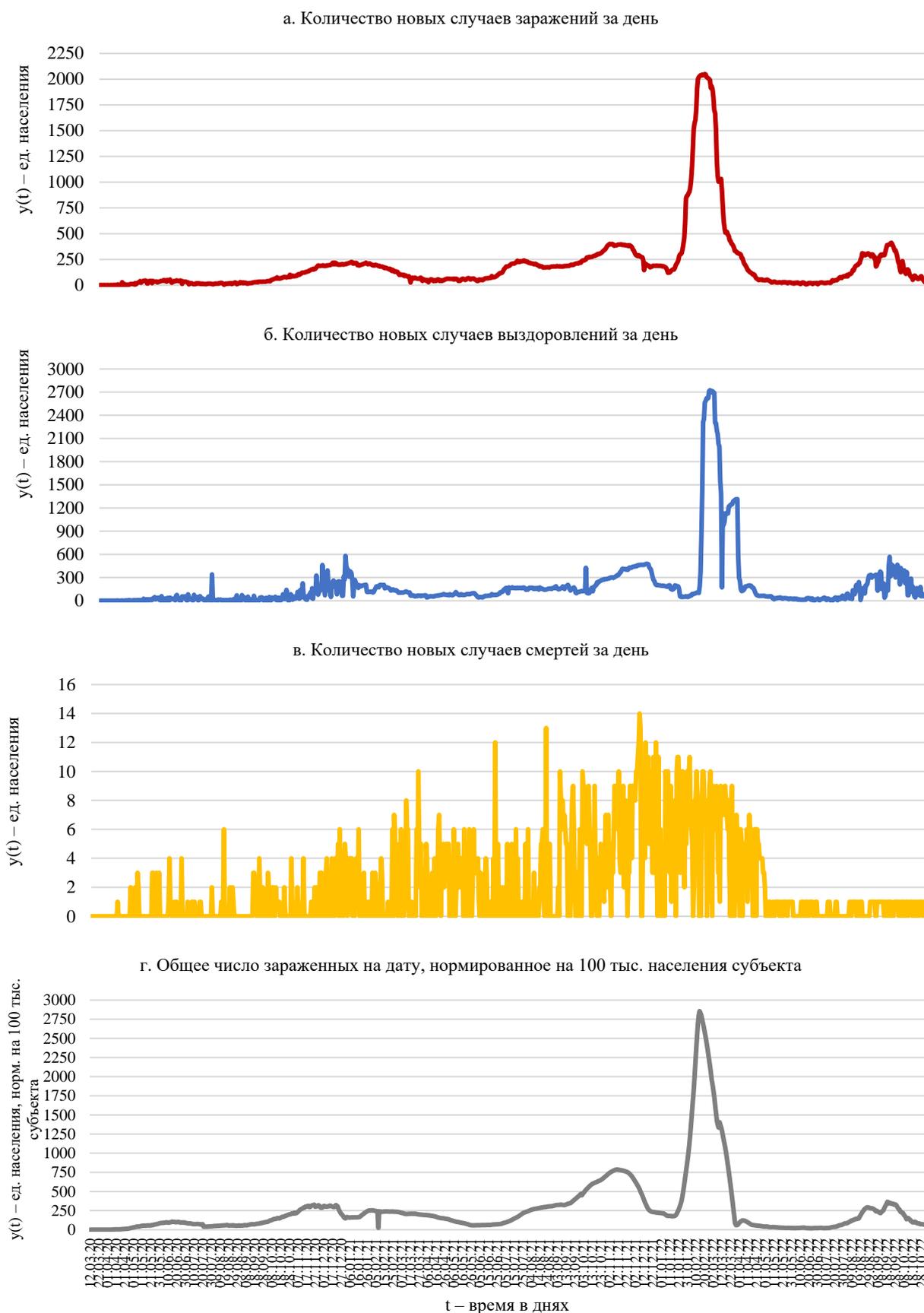


Рисунок 10.5 – Ряды количества новых случаев COVID-19 (а) заражений, (б) выздоровлений, (в) смертей за день и (г) общего числа зараженных на дату по Калининградской обл. с 12 марта 2020 г. по 01 ноября 2022 г.

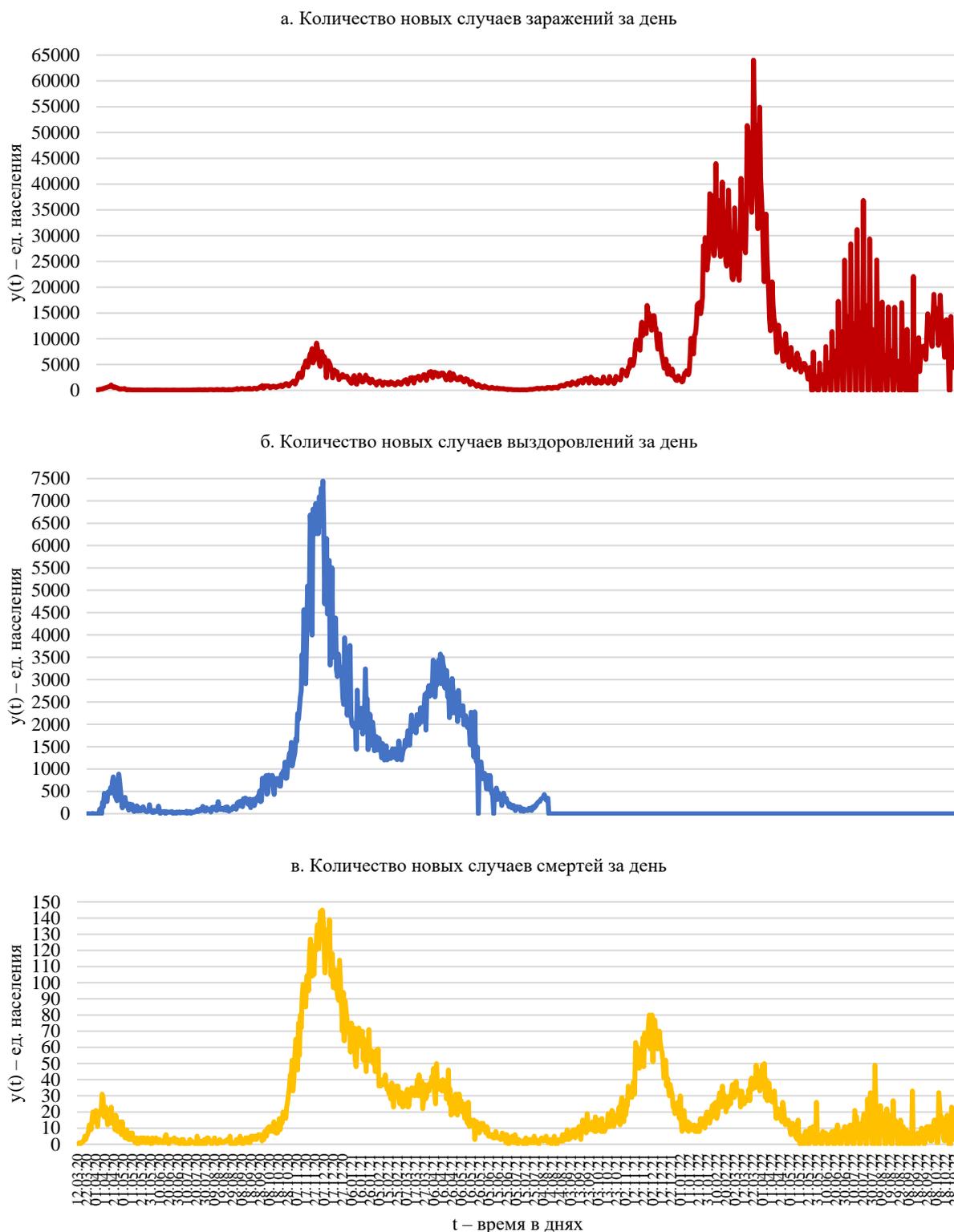


Рисунок 10.6 – Ряды количества новых случаев COVID-19 (а) заражений, (б) выздоровлений, (в) смертей за день по Австрийской Респ. с 12 марта 2020 г. по 01 ноября 2022 г. ([GitHub, 2023] не фиксирует значения количества новых случаев выздоровлений начиная с 5 августа 2021 г.)



10.2.2 Распознавание ключевых ограничительных мер с помощью регрессионных производных

Подраздел посвящен выявлению ограничительных мер из записей ВОЗ, повлиявших на снижение количества новых случаев заражений COVID-19 за день, в трех из выше рассматриваемых регионов: г. Москва (рис. 10.7), г. Санкт-Петербург (рис. 10.8) и Австрийская Респ. (рис. 10.9). Меры выявляются методом регрессионных производных [Агаян и др., 2019а; Агаян и др., 2019б; Агаян и др., 2021], входящим в инструментарий дискретного математического анализа (ДМА) [Agayan et al, 2018] – направления анализа данных, основанного на переносе понятий классического математического анализа на дискретный случай, развиваемого для геофизических приложений в работах А.Д. Гвишиани, С.М. Агаяна, Ш.Р. Богоутдинова, Б.А. Дзебоева, М.Н. Добровольского и др.

Проанализировав распознанные ключевые ограничительных меры, выделенные с помощью регрессионных производных, и их процентный состав, исходя из принадлежности к категории классификации записей ВОЗ, можно прийти к выводу, что решающими мерами, влияющими на уменьшение количества новых случаев заражений за день от COVID-19, стали ограничение пребывания большого количества людей в общественных, рабочих местах и в междугороднем транспорте, выявление и изоляция случаев заражения, а также ношение средств индивидуальной защиты и меры гигиены.

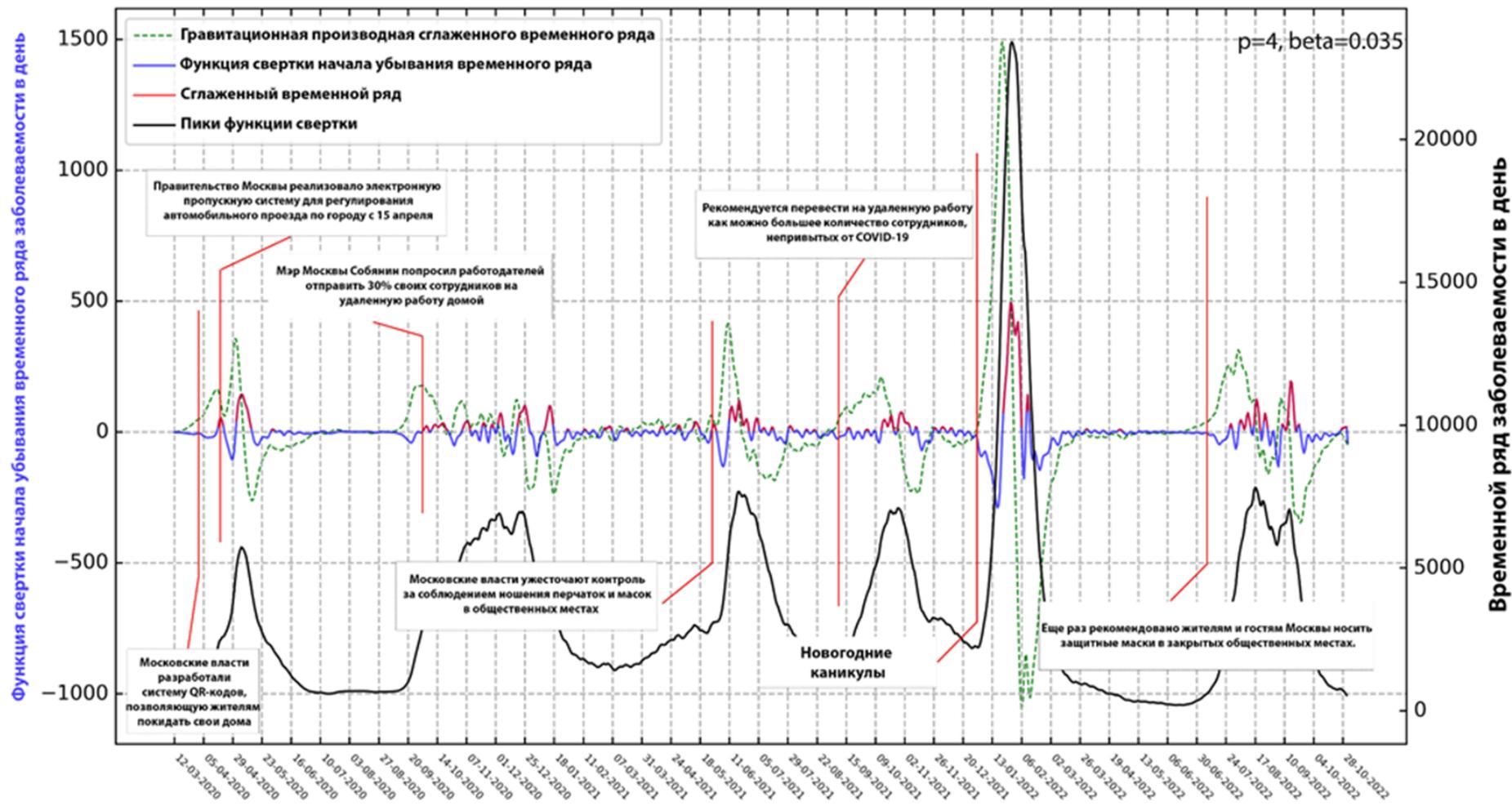


Рисунок 10.7 – График сглаженного временного ряда количества новых случаев заражений за день для г. Москвы с 12 марта 2020 г. по 01 ноября 2022 г. из [Yandex DataLens, 2023] показан черным цветом; график его функции свертки и выделенные пики порогом α – синим и красным цветами соответственно. Красными указателями с текстовыми пояснениями маркированы даты введения избранных ключевых ограничительных мер

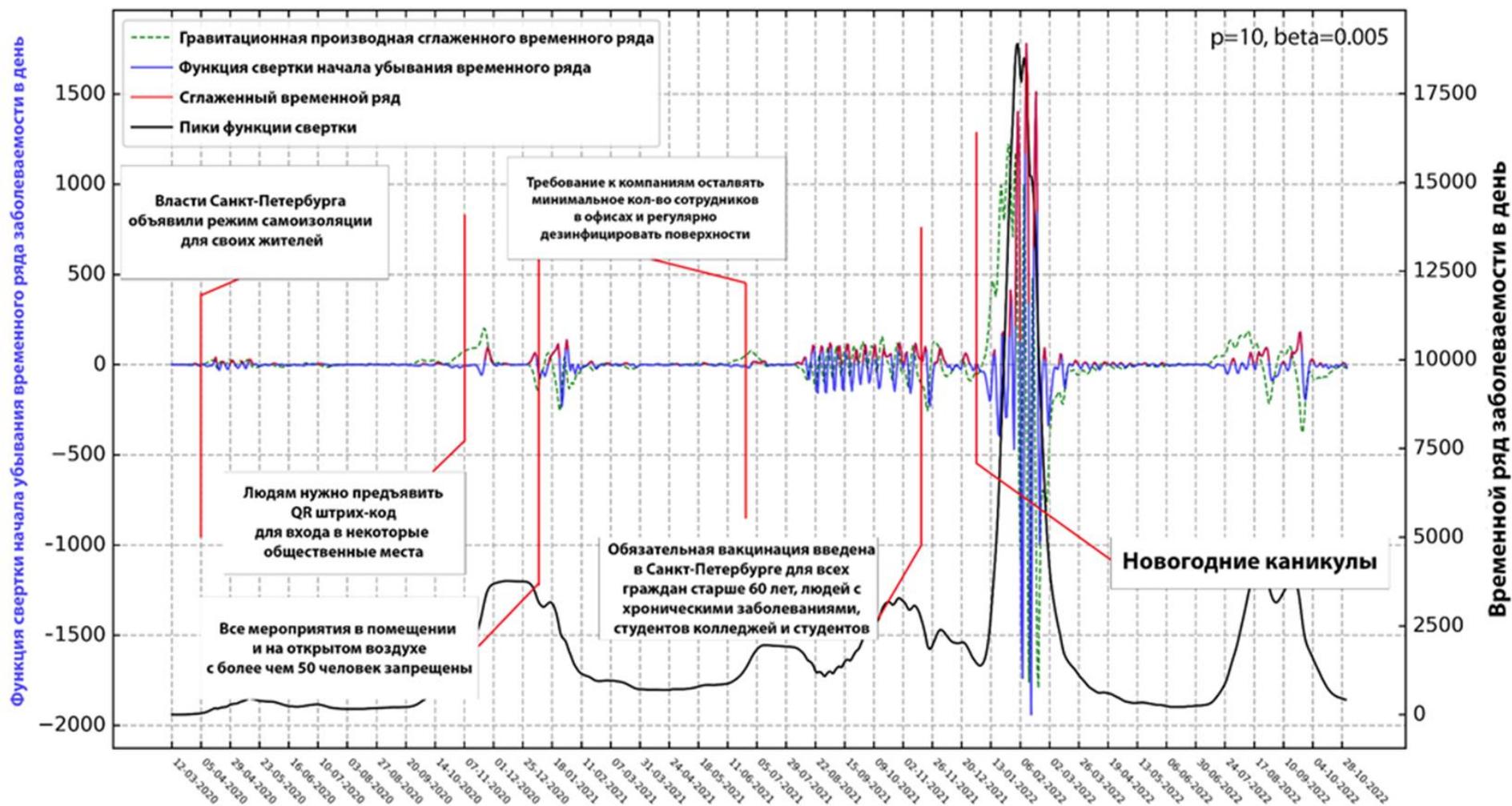


Рисунок 10.8 – График сглаженного временного ряда количества новых случаев заражений за день для г. Санкт-Петербурга с 12 марта 2020 г. по 1 ноября 2022 г. из [Yandex DataLens, 2023] показан черным цветом; график его функции свертки и выделенные пики порогом α – синим и красным цветами соответственно. Красными указателями с текстовыми пояснениями маркированы даты введения избранных ключевых ограничительных мер

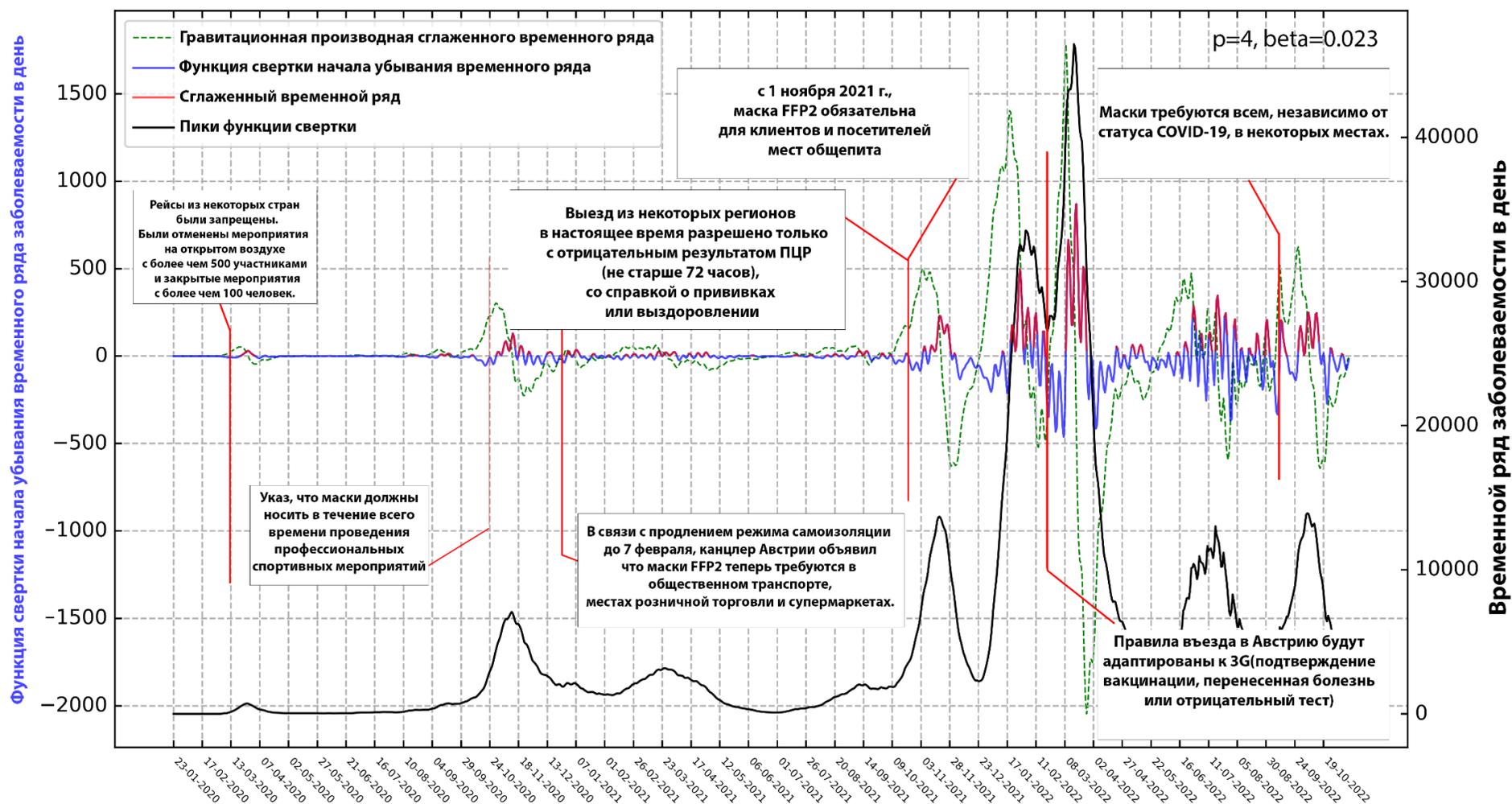


Рисунок 10.9 – График сглаженного временного ряда количества новых случаев заражения за день для Австрийской Респ. с 12 марта 2020 г. по 10 ноября 2022 г. из [GitHub, 2023] показан черным цветом; график его функции свертки и выделенные пики порогом α – синим и красным цветами соответственно. Красными указателями с текстовыми пояснениями маркированы даты введения избранных ключевых ограничительных мер

10.2.3 Распознавание алгоритмом FCARS аномальных значений временных рядов

Временные ряды количества новых случаев заражений за день для принятых авторами в рамках исследований субъектов РФ и Австрийской Респ. были проанализированы на предмет аномалий алгоритмом FCARS (аббр. от англ. Fuzzy Comparison Algorithm for Recognition of Signals) [Гвишиани и др., 2003], являющимся одним из алгоритмов ДМА. Результаты применения FCARS к временным рядам данных количества новых случаев заражений за день в рассматриваемых регионах приведены на рис. 10.10-10.15.

Из рисунков видно, что алгоритм FCARS выделил области повышенных значений количества новых случаев заражений за день. Такие области соответствуют наиболее острым фазам развития эпидемии. Приложение алгоритма FCARS, во-первых, позволяет автоматически определять временные границы таких острых фаз по ретроспективным данным, а, во-вторых, при применении к вновь поступающим данным о количестве новых случаев заражений за день может использоваться как маркер начала очередной острой фазы пандемии и принятия соответствующих ограничительных мер.

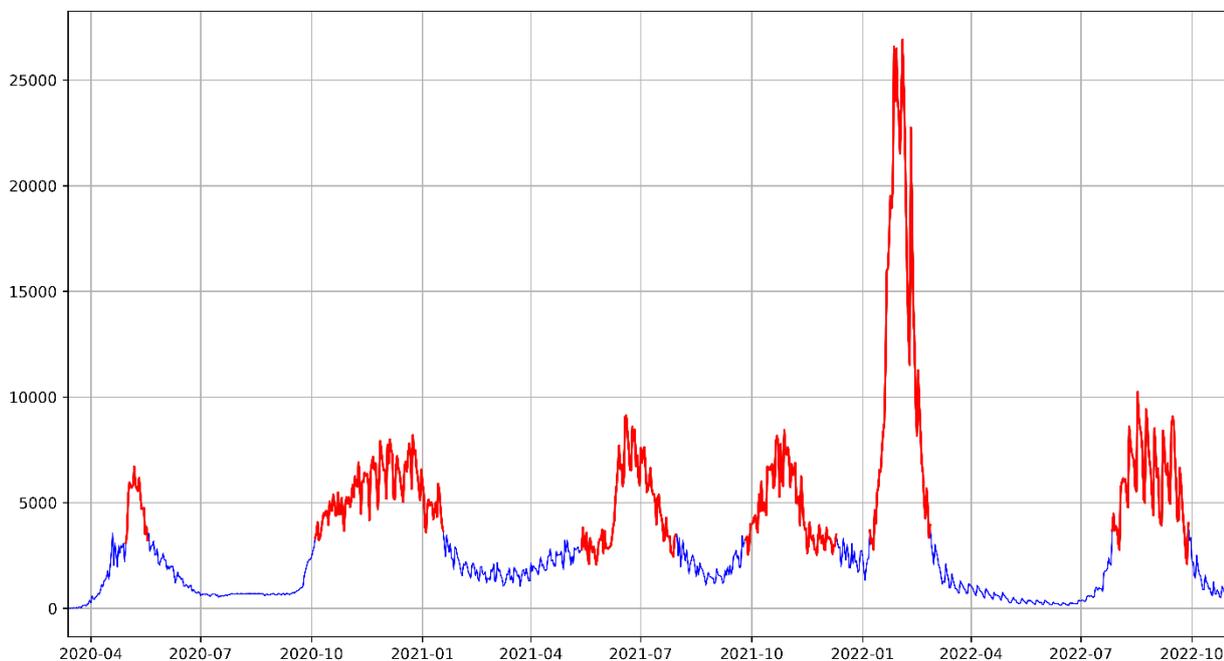


Рисунок 10.10 – График временного ряда количества новых случаев заражений за день для г. Москвы с 12 марта 2020 г. по 01 ноября 2022 г. из [Yandex DataLens, 2023] показан синим цветом; красным цветом отмечены аномалии, выделенные алгоритмом FCARS

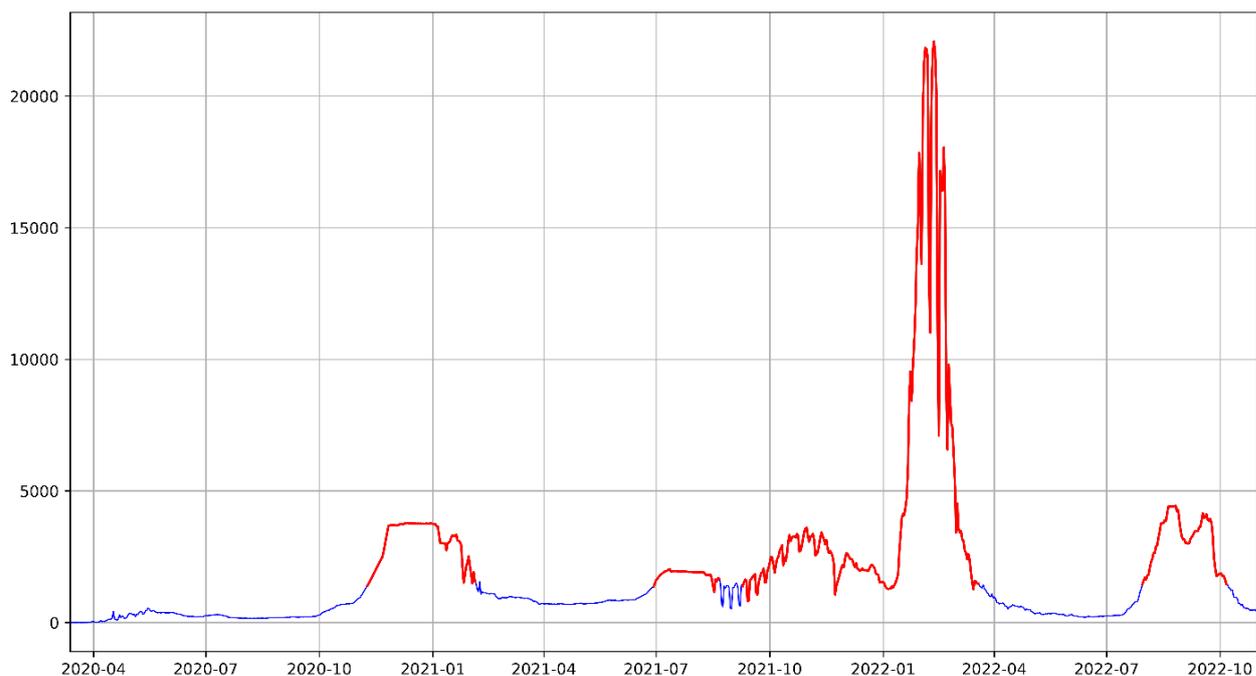


Рисунок 10.11 – График временного ряда количества новых случаев заражений за день для г. Санкт-Петербурга с 12 марта 2020 г. по 01 ноября 2022 г. из [Yandex DataLens, 2023] показан синим цветом; красным цветом отмечены аномалии, выделенные алгоритмом FCARS.

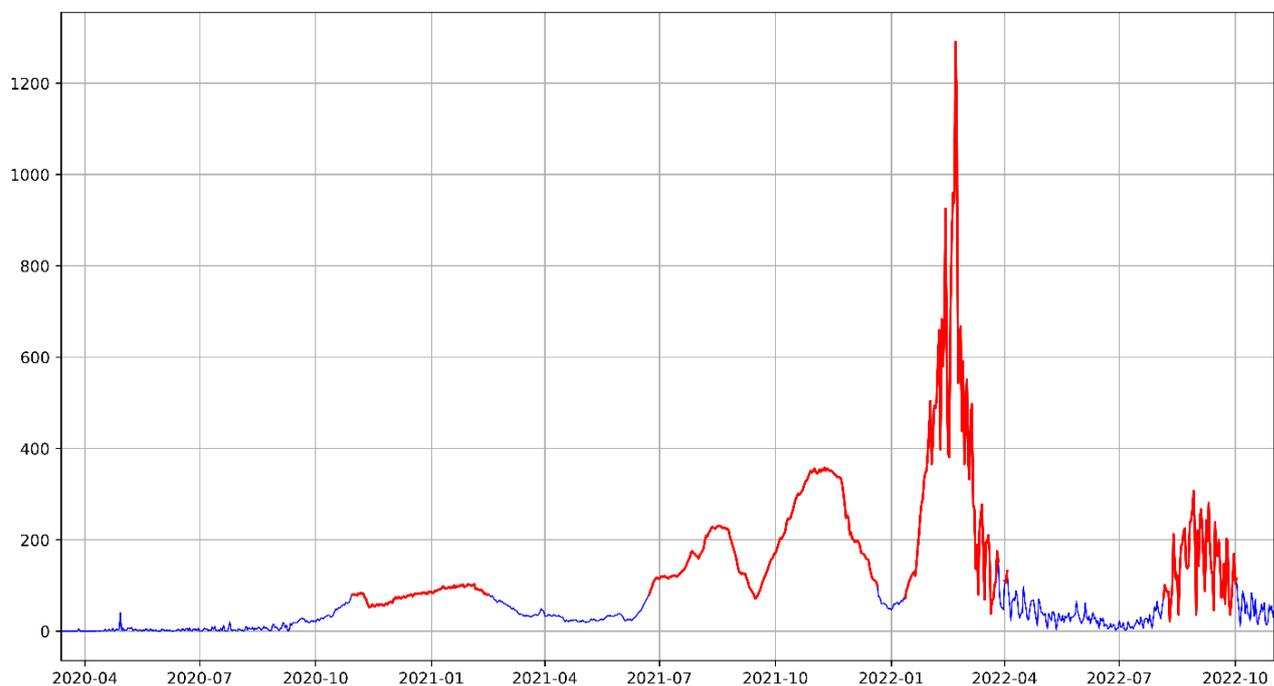


Рисунок 10.12 – График временного ряда количества новых случаев заражений за день для г. Севастополя с 12 марта 2020 г. по 01 ноября 2022 г. из [Yandex DataLens, 2023] показан синим цветом; красным цветом отмечены аномалии, выделенные алгоритмом FCARS.

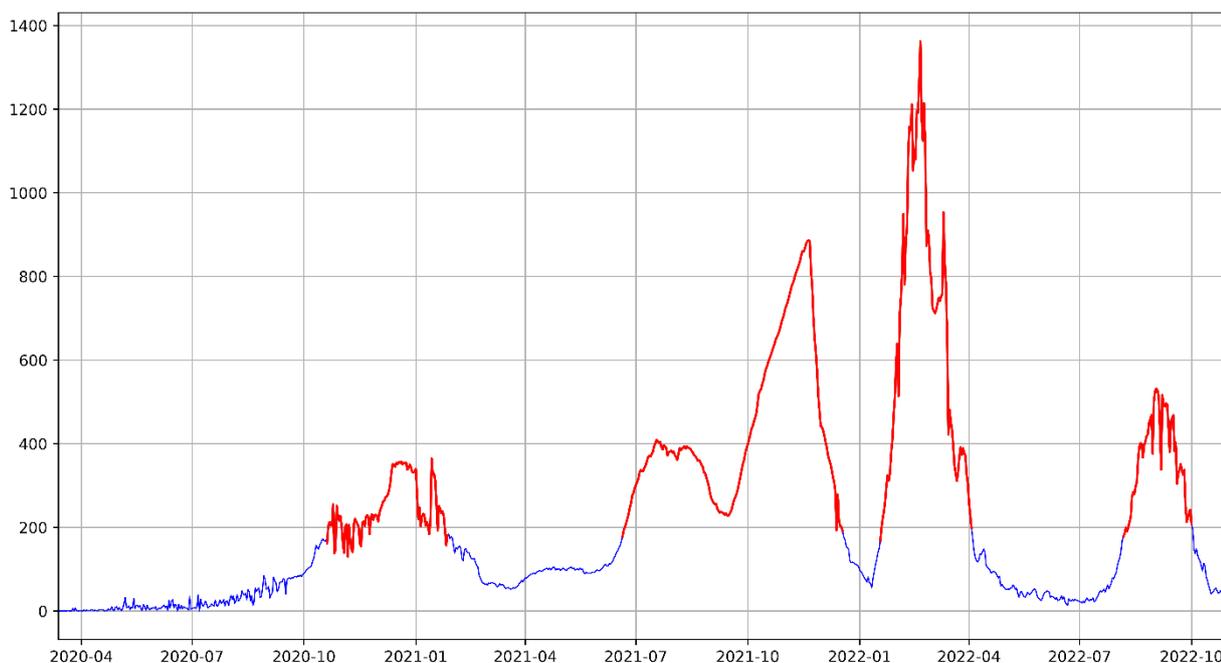


Рисунок 10.13 – График временного ряда количества новых случаев заражений за день для Респ. Крым с 12 марта 2020 г. по 01 ноября 2022 г. из [Yandex DataLens, 2023] показан синим цветом; красным цветом отмечены аномалии, выделенные алгоритмом FCARS.

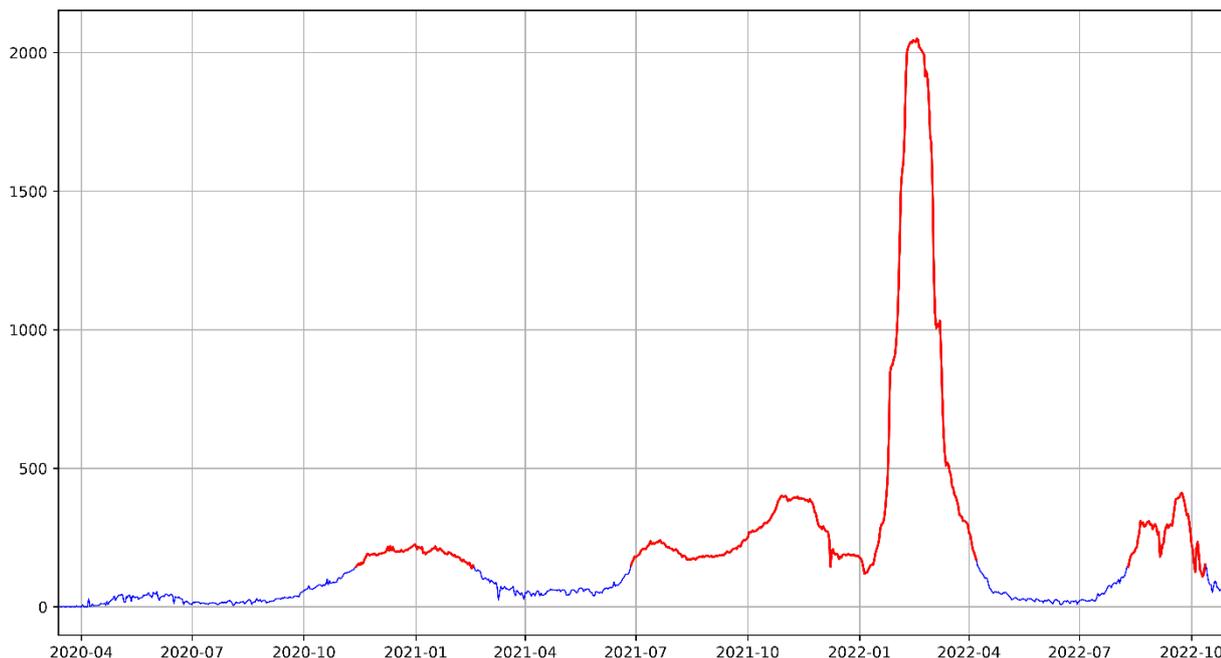


Рисунок 10.14 – График временного ряда количества новых случаев заражений за день для Калининградской обл. с 12 марта 2020 г. по 01 ноября 2022 г. из [Yandex DataLens, 2023] показан синим цветом; красным цветом отмечены аномалии, выделенные алгоритмом FCARS.

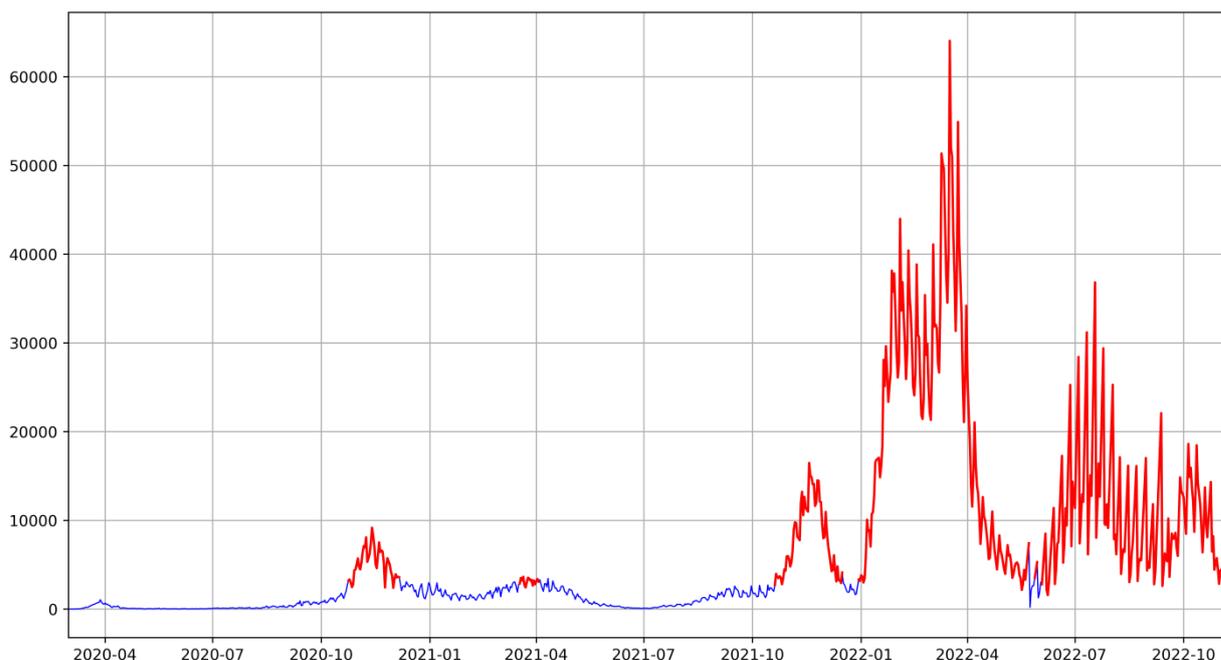


Рисунок 10.15 – График временного ряда количества новых случаев заражений за день для Австрийской Респ. с 12 марта 2020 г. по 01 ноября 2022 г. из [GitHub, 2023] показан синим цветом; красным цветом отмечены аномалии, выделенные алгоритмом FCARS.

Список использованных источников

- Агаян С.М., Богоутдинов Ш.Р., Камаев Д.А., Добровольский М.Н. Стохастические тренды на основе нечеткой математики // Чебышевский сборник. 2019а. Т. 20, вып. 3, с. 92–106.
- Агаян С.М., Соловьев А.А., Богоутдинов Ш.Р., Николова Ю.И. Регрессионные производные и их применение в изучении геомагнитных джерков // Геомагнетизм и аэрономия. 2019б. Т. 59, № 3. С. 383–392.
- Агаян С.М., Богоутдинов Ш.Р., Добровольский М.Н., Иванченко О.В., Камаев Д.А. Регрессионное дифференцирование и регрессионное интегрирование конечных рядов // Чебышевский сборник, 2021, т. 22, вып. 2, с. 27–47.
- Гвишиани А.Д., Агаян С.М., Богоутдинов Ш.Р., Леденев А.В., Злотники Ж., Боннин Ж. Математические методы геоинформатики. II. Алгоритмы нечеткой логики в задачах выделения аномалий на временных рядах // Кибернетика и системный анализ. 2003. No 4. С.103-111
- Скляр Б.А. Исследовательские данные и выводы, относящиеся к омикрон-штамму коронавируса (COVID-19). Международный журнал гуманитарных и естественных наук, no. 5-1, 2022, pp. 102-105. doi: 10.24412/2500-1000-2022-5-1-102-105
- Adjei S, Hong K, Molinari NM, et al. Mortality Risk Among Patients Hospitalized Primarily for COVID-19 During the Omicron and Delta Variant Pandemic Periods — United States, April 2020–June 2022. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2022;71:1182–1189. DOI: <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm7137a4>
- Agayan S.M., Bogoutdinov S.R., Krasnoperov R.I. Short introduction into DMA // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2018. Vol. 18. No 2. DOI: 10.2205/2018ES000618



GitHub, 2023, CSSEGISandData/COVID-19:NovelCoronavirus (COVID-19) Cases, provided by JHU CSSE, <https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19>

World Health Organization, 2019, Public Health and Social Measures <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/phsm>

Yandex DataLens, 2023, Coronavirus. Dashboard and data. <https://datalens.yandex/7o7is1q6ikh23>



11 Международная деятельность ГЦ РАН в 2022 году

Сотрудники ГЦ РАН входят в состав руководящих органов международных научных организаций. Директор ГЦ РАН, член-корреспондент РАН А.А. Соловьев является вице-председателем Комиссии по данным и информации (UCDI) Международного геодезического и геофизического союза (IUGG), российским национальным делегатом в Международной ассоциации геомагнетизма и аэронавигации (IAGA) Международного геодезического и геофизического союза (IUGG) и офицером по взаимодействию IUGG и Международного комитета по данным для науки и техники (CODATA) Международного совета по науке (ISC) (IUGG Liaison Officer to the Committee on Data for Science and Technology, CODATA). Научный руководитель ГЦ РАН академик РАН А.Д. Гвишиани является членом Европейской академии наук (Academia Europaea), Коллегии экспертов Европейского научного фонда (“ESF College of Expert Reviewers”), почетным исследователем Международного института прикладного системного анализа (IIASA honorary scholar), председателем Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики и членом Межведомственного координационного совета по международному научному и научно-техническому сотрудничеству под руководством президента РАН.

Главный научный сотрудник лаборатории геофизических данных ГЦ РАН академик РАН И.А. Шеремет является сопредседателем проблемной группы «Перспективные математические инструменты прикладного системного анализа, основанного на данных» (CODATA) Международного совета по науке (ISC).

В 2022 г. выполнялась работа по международным проектам Российского фонда фундаментальных исследований:

1. РФФИ – БРИКС: Исследование и совместная валидация информационных продуктов дистанционного зондирования Земли из разных источников для обмена информацией в странах БРИКС (2019-2022)
Системный №: 19-55-80021 БРИКС_Г ЕГИСУ НИОКТР № АААА-А20-120061690061-2
Руководитель: академик РАН В.Г. Бондур
Отв. исполнитель: чл.-корр. РАН А.А. Соловьев
2. РФФИ – ИИАСА: Системный анализ особенностей характера распространения COVID-19 для стран Европы и регионов России (2021-2022)
Системный №: 20-57-82003 ИИАСА ЕГИСУ НИОКТР № 121032900088-0
Руководитель: академик РАН А.Д. Гвишиани



Отв. исполнитель: А.А. Одинцова.

В 2022 г. продолжилась работа по совершенствованию магнитных обсерваторий стандарта ИНТЕРМАГНЕТ, поддерживаемых ГЦ РАН.

В 2022 г. в рамках российского сегмента международной сети геомагнитных обсерваторий ИНТЕРМАГНЕТ успешно функционирует разработанная специалистами ГЦ РАН алгоритмическая система, с применением аппарата нечеткой логики для геомагнитных измерений, которая позволяет получать очищенные от выбросов магнитограммы из предварительных записей практически без участия человека.

В 2022 г. продолжается работа совместной геомагнитной обсерватории "Гюлагарак" в Армении, созданной в результате кооперации между Институтом геофизики и инженерной сейсмологии Республики Армения (ИГИС НАН) и ГЦ РАН. В период с 14 по 18 февраля 2022 г. ГЦ РАН с официальным визитом посетил директор ИГИС НАН РА Д.К. Карапетян. В ходе встречи с руководством ГЦ РАН обсуждалось дальнейшее развитие обсерватории с целью ее доведения до международного стандарта ИНТЕРМАГНЕТ. Обсуждалась программа исследований проекта «Научная группа математической геофизики и геоинформатики», финансируемого Комитетом по науке Республики Армения и реализуемого на базе ИГИС НАН РА с научным консультированием ГЦ РАН. Также были обсуждены перспективные направления развития сотрудничества между ГЦ РАН и ИГИС НАН РА.

В апреле 2022 г. состоялась командировка сотрудников Геофизического центра РАН в Ташкент, Республика Узбекистан в Институт сейсмологии имени Г.А. Мавлянова Академии Наук Республики Узбекистан. В составе делегации были директор ГЦ РАН А.А. Соловьев и зам. директора по науке Б.А. Дзедобоев. Был организован научный семинар, на котором обсуждались вопросы современных тенденций в области изучения магнитного поля Земли и вопрос развития магнитных наблюдений на геофизической обсерватории «Янгибазар» (Ташкентская геофизическая обсерватория), принадлежащей Институту, и ее доведения до международного стандарта сети магнитных наблюдений ИНТЕРМАГНЕТ.

Развивается научное сотрудничество между ГЦ РАН и Институтом ионосферы (г. Алма-Ата, Республика Казахстан). Происходит обмен данными между обсерваторией Алма-Ата» и сервером Российско-украинского центра геомагнитных данных. Данные передаются в оперативном режиме. Осуществляется обмен историческими данными по линии Мировых центров данных, функционирующих в ГЦ РАН.

Издаваемый ГЦ РАН журнал "Russian Journal of Earth Sciences", включенный в третий квартиль (Q3) в отрасли знаний "Earth and Planetary Sciences", является в полной



мере авторитетным международным изданием в области наук о Земле. Журнал научное сообщество с наиболее важными научными результатами, полученными российскими учеными. Главным редактором журнала является академик РАН А.Д. Гвишиани; в редколлегию журнала входят такие известные ученые, как академик РАН А.О. Глико, член-корреспондент РАН А.А. Соловьев, П. Кабат (Швейцария) и другие ведущие ученые в области наук о Земле из разных стран.

В 2022 г. лабораторией геофизических данных ГЦ РАН совместно с лабораторией электронных публикаций продолжилась работа по проекту “База данных по наукам о Земле” – ESDB (Earth Science DataBase), целью которого является создание современной системы регистрации, публикации и цитирования геофизических данных с присвоением цифрового идентификатора объекта DOI (Digital Object Identifier). Главной целью проекта является повышение значимости и доступности геофизических данных для научных исследований, облегчение процесса их поиска, идентификации и публикации, а также развитие культуры цитирования данных.

Важной частью международной деятельности ГЦ РАН является участие сотрудников в международных программах, семинарах, школах, которые состоялись в 2022 г.:

- 25-28 января 2022 года прошла 27-я конференция пользователей Esri в России и странах СНГ. Был представлен доклад «Создание системы геопорталов и инструментов геообработки для анализа геолого-геофизических данных» о результатах работы ГЦ РАН в части ГИС: разработка технологий создания ГИС-геопорталов: «Науки о Земле», “Interactive Geology Atlas”, «Оценка сейсмической опасности», «Арктика». В рамках конференции прошел конкурс веб-ГИС приложений, на котором приложение «Aurora-Forecast» (<http://aurora-forecast.ru/>), разработанное сотрудниками ГЦ РАН (Воробьев А.В., Соловьев А.А., Воробьева Г.Р.), заняло первое место.
- 4 марта 2022 г. в рамках постоянно действующего международного Московского академического экономического форума (МАЭФ) состоялся второй Арктический академический форум. Инициатор и председатель мероприятия: академик РАН, председатель Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики, научный руководитель Геофизического центра РАН А.Д. Гвишиани. Темой форума в этом году стало: «Развитие научных исследований и экономика Арктики». Организаторами выступили Вольное экономическое общество России, Научный совет Российской академии наук по изучению Арктики и Антарктики, Международный Союз экономистов. В мероприятии приняли участие ведущие учёные и эксперты,



представители органов государственной власти, международных и национальных общественных организаций, администраций субъектов РФ, делового сообщества.

- 30 июня 2022 года на площадке РАН прошел научный российско-индийский вебинар на тему «Сейсмология: мониторинг и прогнозирование». Мероприятие было подготовлено Управлением международного сотрудничества РАН совместно с Посольством Индии в Москве и является продолжением серии совместных вебинаров по научным направлениям, представляющим взаимный интерес. В мероприятии участвовали директор ГЦ РАН, чл.-корр. РАН А.А. Соловьев, директор Института геологии Гималаев Вадиа (г. Дехрадун), профессор Калачанд Сайн и специалисты, работающие в области сейсмологии, представившие свои разработки по технологиям и способам прогнозирования и мониторинга, а также наблюдения за землетрясениями и смягчения их негативных последствий.
- 16 ноября 2022 г. прошёл круглый стол "Роль науки в обеспечении технологической устойчивости транспорта" в рамках работы XVI Международного форума и выставки «Транспортная неделя». Директор ГЦ РАН чл.-корр. РАН А.А. Соловьев выступил с докладом "Влияние геофизических факторов на работу железнодорожного транспорта в российской Арктике". В докладе освещались основные научные результаты, полученные в рамках проекта РНФ "Системный анализ динамики геофизических процессов в российской Арктике и их воздействие на развитие и функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта" за 2022 год.
- 7 декабря 2022 г. состоялся Научный семинар ГЦ РАН, на котором выступил ассоциированный профессор Института астрономии с Национальной астрономической обсерваторией Болгарской академии наук, астроном и геофизик Борис Петров Комитов (Ph.D.) с докладом на тему: «Триггерные воздействия космической погоды на земную тектонику».



12 Деятельность Национального геофизического комитета РАН

НГК РАН осуществляет представительство России в Международном геодезическом и геофизическом союзе (IUGG) и его восьми ассоциациях. НГК РАН координирует участие институтов РАН в различных международных проектах и программах, проводимых комиссиями и комитетами Союза. Комитет ведет свою деятельность под руководством Бюро Отделения наук о Земле РАН. Базовой организацией НГК РАН является ГЦ РАН. Состав Бюро Комитета утвержден Постановлением Бюро Отделения наук о Земле РАН № 13000/1-2 от 19 февраля 2019 г.

Несмотря на продолжающиеся ограничения, связанные с пандемией COVID-19, а также усложнившуюся внешнеполитическую ситуацию представители НГК РАН и российских научных организаций приняли участие в научной ассамблее IAHS, прошедшей Монпелье (Франция) с 29 мая по 3 июня (<http://www.iahs2022.org/>).

Деятельность секций НГК РАН в 2022 г. была направлена на подготовку к участию российских ученых и специалистов в крупных научных мероприятиях, проводимых под эгидой IUGG и его ассоциаций, запланированных на 2023 г.:

- Научная ассамблея IAVCEI, Роторуа, Новая Зеландия, 30 января – 3 февраля 2023 г. (<https://confer.eventsair.com/iaxcei2023/>);
- 28-я Генеральная ассамблея IUGG, Берлин, Германия, 11-20 июля 2023 г. (<https://www.iugg2023berlin.org/>).

Участие российских ученых в деятельности IUGG имеет большое научное и политическое значение для нашей страны, поскольку Союз является одним из ключевых игроков в сфере научной дипломатии и международного научного сотрудничества.

Вследствие введенных в 2022 г. со стороны ряда стран ограничений в отношении российского банковского сектора стала невозможной оплата ежегодного взноса России в IUGG. Более того, в адрес Президента РАН не был своевременно выставлен счет на оплату взноса. Аппарат НГК РАН обратился к руководству IUGG с просьбой подготовить счет и направить его в РАН. После нескольких раундов консультаций счет был подготовлен и отправлен в адрес Президента РАН. УМС РАН было также поставлено в известность об этой ситуации. Аппарат НГК РАН продолжит деятельность по сохранению полноценного членства России в IUGG, а также по обеспечению участия российских ученых в мероприятиях, проводимых под эгидой Союза. К сожалению, на момент подготовки настоящего отчета счет не был оплачен из-за невозможности осуществить банковский перевод



Список основных научных публикаций за 2022 год

Монографии

1. Катцов В.М. (ред.) Лебедев С.А. и др. (2022). Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Росгидромет. – Санкт-Петербург: Научно-технологические технологии, -(1), 676.

Статьи в журналах

1. Алёшин И.М., Козловская Е.Г., Малыгин И.В. (2022). Применение методов теории машинного обучения в томографии приёмных функций. Геофизические исследования, 23(1), 49-61. DOI: 10.21455/gr2022.1-4
2. Белов А.В., Гвишиани А.Д., Гетманов В.Г., Соловьёв А.А., Ковыляева А.А., Чинкин В.Е., Янке В.Г., Яшин И.И. (2022). Распознавание геомагнитных бурь на основе нейросетевых модельных оценок Dst-индексов. Известия РАН. Теория и системы управления, -(1), 83-94. DOI: 10.31857/S0002338822010048
3. Богоутдинов Ш.Р., Одинцова А.А., Пирогова А.С. (2022). Поиск зон экстремальности на основе алгоритмов дискретного анализа для выявления рисков при бурении по геофизическим данным. Russian Journal of Earth Sciences, 22(4), 1-9. DOI: 10.2205/2022ES000796
4. Бровар Б.В., Кафтан В.И., Нейман Ю.М. (2022). Проблемы науки и образования в геодезии. Науки о Земле, -(1), 73-80.
5. Власова Н.А., Логачев Ю.И., Базилевская Г.А., Гинзбург Е.А., Дайбог Е.И., Ишков В.Н., Калегаев В.В., Лазутин Л.Л., Нгуен М.Д., Сулова Г.М., Яковчук О.С. (2022). Каталоги солнечных протонных событий как инструмент изучения космической погоды. Космические исследования, 60(3), 181-195. DOI: 10.31857/S0023420622030098
6. Воробьев А.В., Соловьев А.А., Пилипенко В.А., Воробьева Г.Р. (2022). Интерактивная компьютерная модель для прогноза и анализа полярных сияний. Солнечно-земная физика, 8(2), 93-100. DOI: 10.12737/szf-82202213
7. Гвишиани А.Д., Добровольский М.Н., Дзеранов Б.В., Дзобоев Б.А. (2022). Большие данные в геофизике и других науках о Земле. Физика Земли, -(1), 3-34. DOI: 10.31857/S0002333722010033
8. Гвишиани А.Д., Лобковский Л.И., Соловьева Н.В. (2022). Перспективы синтеза моделей экологического риска и технологий больших данных для морских экосистем. Физика Земли, -(4), 101-112. DOI: 10.31857/S0002333722040044
9. Гвишиани А.Д., Татарин В.Н., Кафтан В.И., Маневич А.И., Минаев В.А., Устинов С.А., Шевчук Р.В. (2022). Геодинамическая модель северной части Нижнеканского массива: разломная тектоника, деформации, изоляционные свойства пород. Доклады Российской академии наук. Науки о Земле, 507(1), 67-74. DOI: 10.31857/S2686739722601399



10. Гетманов В.Г., Чинкин В.Е., Сидоров Р.В., Гвишиани А.Д., Добровольский М.Н., Соловьёв А.А., Дмитриева А.Н., Ковыляева А.А., Яшин И.И. (2022). Прогнозирование геомагнитных бурь на основе нейросетевой цифровой обработки совместных наблюдений мюонного годоскопа УРАГАН и станций нейтронных мониторов. *Геомагнетизм и аэрономия*, 62(4), 470-484. DOI: 10.31857/S0016794022040083
11. Добровольский Н.Н., Добровольский М.Н., Реброва И.Ю., Добровольский Н.М. (2022). Конечное отклонение и основная мера качества для сеток Коробова. *Чебышевский сборник*, 23(2), 56-73. DOI: 10.22405/2226-8383-2022-23-2-56-73
12. Добровольский Н.Н., Добровольский М.Н., Чубариков В.Н., Реброва И.Ю., Добровольский Н.М. (2022). Обобщённая проблема Дирихле для двумерной решётки приближений Дирихле. *Чебышевский сборник*, 23(1), 83-105. DOI: 10.22405/2226-8383-2022-23-1-83-105
13. Захарова Н.Б., Пармузин Е.И., Лёзина Н.Р., Агошков В.И., Шелопут Т.О., Лебедев С.А., Шутяев В.П., Шевченко Б.С. (2022). Реанализ гидрофизических полей на основе ассимиляции данных ЦКП "ИКИ - Мониторинг" в модели гидротермодинамики Черного, Азовского и Мраморного морей. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 19(6), 63-75. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-63-75
14. Кафтан В.И., Побединский Г.Г., Савиных В.П., Столяров И.А. (2022). Государственные системы координат: анализ состояния и перспектив. *Науки о Земле*, -(1), 51-62.
15. Кафтан В.И., Татаринцов В.Н. (2022). Регистрация медленных деформационных волн по данным ГНСС наблюдений. *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*, 505(1), 95-102. DOI: 10.31857/S268673972207009X
16. Кафтан В.И., Татаринцов В.Н., Шевчук Р.В. (2022). Долговременные изменения движений и деформаций земной коры до и во время серии землетрясений Кумамото (2016 г., Япония). *Геодинамика и тектонофизика*, 13(1), 1-13. DOI: 10.5800/GT-2022-13-1-0570
17. Козырева О.В., Пилипенко В.А., Добровольский М.Н., Зайцев А.Н., Маршалко Е.Е. (2022). База данных геомагнитных наблюдений в российской Арктике и ее использование для оценки воздействий космической погоды на технологические системы. *Солнечно-земная физика*, 8(1), 39-50. DOI: 10.12737/szf-81202205
18. Лебедев С.А., Гусев И.В. (2022). Калибровка альтиметрических измерений значимых высот волн по результатам волнового реанализа. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 19(6), 248-264. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-248-264
19. Любовцева Ю.С., Гвишиани А.Д., Кедров Э.О., Барыкина Ю.В. (2022). История исследований Геофизического центра РАН. 2017 год. *Вестник ОНЗ РАН*, 14(-), 1-34. DOI: 10.2205/2022NZ000375



20. Маневич А.И., Шевчук Р. В., Кафтан В.И., Татаринов В.Н., Забродин С.М. (2022). Развитие сети ГНСС-наблюдений в пределах Нижне-Канского массива с использованием скальных геодезических центров. Сейсмические приборы, 58(4), 111-129. DOI: 10.21455/si2022.4-7
21. Передерин Ф.В., Холодков К.И., Татаринов В.Н., Шевчук Р.В., Маневич А.И. (2022). Наблюдения за деформациями земной поверхности на полигоне ФГУП НПО «Радон». Сейсмические приборы, 58(4), 160-174. DOI: 10.21455/si2022.4-10
22. Пилипенко О.В., Ростовцева Ю.В., Сальная Н.В. (2022). Ферромагнитные минералы как возможные индикаторы обстановок седиментации тарханских отложений Восточного Паратетиса (разрез Коп-Такыл). Вестник КРАУНЦ, 54(2), 80-92. DOI: 10.31431/1816-5524-2022-2-54-80-92
23. Сальная Н. В., Ростовцева Ю.В., Пилипенко О. В., Кудашин А.С. Палеомагнетизм сармата-меотиса Восточного Паратетиса: перемагничивание или нет? // Физика Земли, 2022. DOI: 10.31857/S0002333722060114
24. Серых И.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Костяная Е.А. (2022). О переходе температурного режима региона белого моря в новое фазовое состояние. Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 15(1), 98-111. DOI: 10.48612/fpg/k9x4-r8fz-5kz6
25. Серых И.В., Толстиков А.В. (2022). Изменения климата западной части Российской Арктики в 1980–2021 гг. Часть 1. Температура воздуха, осадки, ветер. Проблемы Арктики и Антарктики, 68(3), 258-277. DOI: 10.30758/0555-2648-2022-68-3-258-277
26. Соловьев А.А., Кудин Д.В., Сидоров Р.В., Котиков А.Л. (2022). Детектирование геомагнитного джерка 2020 г. по оперативным данным магнитных обсерваторий «Санкт-Петербург» и «Климовская». Доклады Российской академии наук. Науки о Земле, 507(1), 85-90. DOI: 10.31857/S2686739722601375
27. Соловьев А.А., Сидоров Р.В., Ощенко А.А., Зайцев А.Н. (2022). О необходимости высокоточного мониторинга геомагнитного поля при наклонно-направленном бурении в АЗРФ. Физика Земли, -(3), 136-152. DOI: 10.31857/S0002333722020120
28. Соловьева Е.Н., Гвишиани А.Д. (2022). История исследований Геофизического центра РАН. 2019 год. Вестник ОНЗ РАН, 14(-), 1-36. DOI: 10.2205/2021NZ000374
29. Татаринов В.Н., Кафтан В.И., Маневич А.И., Забродин С.М., Шевчук Р.В. (2022). Подземная исследовательская лаборатория: результаты 12-летних наблюдений за современными движениями земной коры средствами ГНСС. Радиоактивные отходы, -(4), 59-69. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-4-58-69
30. Татаринов В.Н., Морозов В.Н., Татаринова Т.А. (2022). Механизм деформирования приконтурной зоны горных выработок с тепловыделяющими технологиями. ГИАБ, -(10), 141-152. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_10_0_141
31. Челпанов М.А., Анфиногентов С.А., Костарев Д.В., Михайлова О.С., Рубцов А.В., Феденёв В.В., Челпанов А.А. (2022). Обзор и сравнение особенностей МГД-волн на Солнце и в магнитосфере Земли. Солнечно-земная физика, 8(4), 3-28. DOI: 10.12737/szf-84202201



32. Шебалин П.Н., Гвишиани А.Д., Дзебоев Б.А., Скоркина А.А. (2022). Почему необходимы новые подходы к оценке сейсмической опасности? Доклады Российской академии наук. Науки о Земле, 507(1), 91-97. DOI: 10.31857/S2686739722601466
33. Шевчук Р.В., Маневич А.И., Актматов Д.Ж., Урманов Д.И., Шакиров А.И. (2022). Современные методы, методики и технические средства мониторинга движений земной коры. Горная промышленность, -(5), 99-104. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-99-104
34. Юсупов В.Р., Соловьев А.А., Сидоров Р.В. (2022). Изучение суточных и вековых вариаций магнитного поля земли по данным магнитной обсерватории «Янгибазар» (Узбекистан). Russian Journal of Earth Sciences, 22(6), 1-14. DOI: 10.2205/2022ES000815
35. Agayan S.M., Bogoutdinov Sh.R., Dzeboev B.A., Dzeranov B.V., Kamaev D.A., Osipov M.O. (2022). DPS clustering: new results. Applied Sciences, 12(18), 1-16. DOI: 10.3390/app12189335
36. Agayan S.M., Bogoutdinov Sh.R., Krasnoperov R.I., Efremova O.V., Kamaev D.A. (2022). Fuzzy logic methods in the analysis of tsunami wave dynamics based on sea level data. Pure and Applied Geophysics, 179(11), 4053-4062. DOI: 10.1007/s00024-022-03104-x
37. Agayan S.M., Losev I.V., Belov I.O., Tatarinov V.N., Manevich A.I., Pasishnichenko M.A. (2022). Dynamic activity index for feature engineering of geodynamic data for safe underground isolation of high-level radioactive waste. Applied Sciences, 12(4), 1-17. DOI: 10.3390/app12042010
38. Aleshin I., Kholodkov K., Malygin I., Shevchuk R., Sidorov R. (2022). Geomagnetic survey interpolation with the machine learning approach. Russian Journal of Earth Sciences, 22(6), 1-6. DOI: 10.2205/2022ES000818
39. Boyarshinov G.A., Popov A.B., Odintsova A.A., Gvozdik S.A., Rybkina A.I., Korolkova A.A. (2022). Application of geoportal's web-technologies in GIS, case study: Interactive Geology Atlas. Russian Journal of Earth Sciences, 22(3), DOI: 10.2205/2022ES000794
40. Dzeboev B.A., Odintsova A.A., Rybkina A.A., Dzeranov B.B. (2022). Assessment of the influence of astronomical cyclicity on sedimentation processes in the Eastern Paratethys based on paleomagnetic measurements using Discrete Mathematical Analysis. Applied Sciences, 12(2), 1-10. DOI: 10.3390/app12020580
41. Getmanov V.G., Chinkin V.E., Gvishiani A.D., Dobrovolsky M.N., Sidorov R.V., Soloviev A.A., Yashin I.I., Dmitrieva A.N., Kovylyaeva A.A. (2022). Application of indicator matrices for the recognition of local anisotropies of muon fluxes in time series of matrix observations of the URAGAN hodoscope. Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications, 32(3), 717-728. DOI: 10.1134/S1054661822030130



42. Getmanov V.G., Sidorov R.V., Gvishiani A.D. (2022). A method for recognition of sudden commencements of geomagnetic storms using digital differentiating filters. *Applied Sciences*, 12(1), 1-7. DOI: 10.3390/app12010413
43. Gvishiani A.D., Dzeboev B.A., Dzeranov B.V., Kedrov E.O., Skorkina A.A., Nikitina I.M. (2022). Strong Earthquake-Prone Areas in the Eastern Sector of the Arctic Zone of the Russian Federation. *Applied Sciences*, 12(23), 1-17. DOI: 10.3390/app122311990
44. Gvishiani A.D., Vorobieva I.A., Shebalin P.N., Dzeboev B.A., Dzeranov B.V., Skorkina A.A. (2022). Integrated earthquake catalog of the eastern sector of the Russian Arctic. *Applied Sciences*, 12(10), 1-24. DOI: 10.3390/app12105010
45. Kaban M., Sidorov R., Soloviev A., Gvishiani A., Petrunin A., Petrov O., Kashubin S., Androsov E., Milshtein E. (2022). A new Moho map for north-eastern Eurasia based on the analysis of various geophysical data. *Pure and Applied Geophysics*, 179(11), 3903-3916. DOI: 10.1007/s00024-021-02925-6
46. Khokhlov A.V. (2022). Processing the non-Gaussian data residuals in geomagnetism. *Applied Sciences*, 12(4), 1-7. DOI: 10.3390/app12042097
47. Kholodkov K., Aleshin I. (2022). BitTorrent is apt for geophysical data collection and distribution. *Russian Journal of Earth Sciences*, 22(6), 1-6. DOI: 10.2205/2022ES000829
48. Komitov B., Kaftan V. (2022). “Danjon effect”, solar-triggered volcanic activity, and relation to climate change. *Russian Journal of Earth Sciences*, 22(6), 1-12. DOI: 10.2205/2022ES000803
49. Komitov B., Kaftan V. (2022). The Danjon effect, solar activity, and volcanism. *Geomagnetism and Aeronomy*, 62(8), 1117-1122. DOI: 10.1134/S001679322208014X
50. Kostianoy A.G., Lebedev S.A., Kostianaia E.A., Prokovief Y.A. (2022). Interannual variability of water level in two largest lakes of Europe. *Remote Sensing*, 14(3), 1-28. DOI: 10.3390/rs14030659
51. Kozyreva O.V., Pilipenko V.A., Marshalko E.E., Sokolova E.Yu., Dobrovolsky M.N. (2022). Monitoring of geomagnetic and telluric field disturbances in the Russian Arctic. *Applied Sciences*, 12(8), 1-17. DOI: 10.3390/app12083755
52. Kruglyakov M., Kuvshinov A., Marshalko E. (2022). Real-time 3-D modeling of the ground electric field due to space weather events. A concept and its validation. *Space Weather*, 20(4), 1-27. DOI: 10.1029/2021SW002906
53. Le Dinh Mau, Vlasova G.A., Lebedev S.A., Nguyen Van Tuan, Ho Van The, Tran Van Binh, Nguyen Thi Thuy Dung (2022). Wave regime of Vietnamese waters on the basis of numerical modeling and field measurements. *Russian Journal of Earth Sciences*, 22(6), 1-13. DOI: 10.2205/2022ES000816
54. Massaro S., Costa A., Sulpizio R., Coppola D., Soloviev A. (2022). Detecting multiscale periodicity from the secular effusive activity at Santiaguito lava dome complex (Guatemala). *Earth, Planets and Space*, 74(107), 1-14. DOI: 10.1186/s40623-022-01658-7



55. Petrunin A.G., Soloviev A.A., Sidorov R.V., Gvishiani A.D. Inverse-forward method for heat flow estimation: case study for the Arctic region // *Russian Journal of Earth Sciences*, 2022. DOI: 10.2205/2022ES000809
56. Popov S. V., Golovina L. A., Palcu D.V., Rostovtseva Yu.V. et al. (2022). Neogene Regional Scale of the Eastern Paratethys, Stratigraphy and Paleontological Basis. *Paleontological Journal*, 56(12), 1557-1720. DOI: 10.1134/S0031030122120024
57. Sakharov Ya.A., Yagova N.V., Pilipenko V.A., Selivanov V.N. (2022). Spectral content of Pc5-6/Pi3 geomagnetic pulsations and their efficiency in generation of geomagnetically induced currents. *Russian Journal of Earth Sciences*, 22(1), 1-9. DOI: 10.2205/2021ES000785
58. Soloviev A., Bogoutdinov Sh., Nisilevich M. (2022). On the frequency distribution of geomagnetic K indices in the northwestern Pacific region over the 19-24 solar cycles. *Pure and Applied Geophysics*, 178(11), 4179-4196. DOI: 10.1007/s00024-021-02862-4
59. Soloviev A.A., Peregoudov D.V. (2022). Verification of the geomagnetic field models using historical satellite measurements obtained in 1964 and 1970. *Earth, Planets and Space*, 74(1), DOI: 10.1186/s40623-022-01749-5
60. Stepanova A.V., Odintsova A.A., Rybkina A.I., Rostovtseva Y.V., Oskolski A.A. (2022). Mummified Wood of Juniperus (Cupressaceae) from the Late Miocene of Taman Peninsula, South Russia. *Plants*, 11(15), 1-9. DOI: 10.3390/plants11152050
61. Vorobev A., Soloviev A., Pilipenko V., Vorobeva G., Sakharov Ya. (2022). An approach to diagnostics of geomagnetically induced currents based on ground magnetometers data. *Applied Sciences*, 12(3), 1-9. DOI: 10.3390/app12031522
62. Vorobieva I.A., Gvishiani A.D., Dzeboev B.A., Dzeranov B.V., Barykina Y.V., Antipova A.O. (2022). Nearest neighbor method for discriminating aftershocks and duplicates when merging earthquake catalogs. *Frontiers in Earth Sciences*, 10(820276), 1-12. DOI: 10.3389/feart.2022.820277
63. Zabarinskaya L., Rashidov V., Sergeyeva N. (2022). Deep Mariana Island arc: highlights of the tectonosphere. *Pure and Applied Geophysics*, 179(11), 3917–3929. DOI: 10.1007/s00024-022-02960-x

Конференции

1. Белаховский В.Б., Пилипенко В.А. Зачем технологическим системам в Арктике бояться космической погоды? // II Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (6-9 июня 2023 г., Подмосковье), 2022.
2. Воробьев А.В. Методы машинного обучения в задачах диагностирования и прогнозирования геофизических параметров // II Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (6-9 июня 2023 г., Подмосковье), 2022.



3. Гвишиани А.Д. Актуальные перспективы изучения арктической зоны РФ в свете теории и практики Больших Данных // II Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (6-9 июня 2023 г., Подмосковье), 2022.
4. Костяной А.Г. Спутниковый мониторинг основных климатических параметров океана // II Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (6-9 июня 2023 г., Подмосковье), 2022.
5. Лебедев С.А. Исследование морского льда методами дистанционного зондирования // II Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (6-9 июня 2023 г., Подмосковье), 2022.
6. Сидоров Р.В. Основы анализа геомагнитных данных: магнитограммы, индексы геомагнитной активности // II Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (6-9 июня 2023 г., Подмосковье), 2022.
7. Скоркина А.А. Сейсмичность арктического региона // II Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (6-9 июня 2023 г., Подмосковье), 2022.
8. Хохлов А.В. Базовые сведения о применениях преобразования Фурье к данным: от фильтрации цифрового сигнала до томографии. Практические примеры (с использованием языка Python) // II Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (6-9 июня 2023 г., Подмосковье), 2022.
9. Шебалин П.Н. Задачи статистической сейсмологии в Арктике // II Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (6-9 июня 2023 г., Подмосковье), 2022.

Статьи в сборниках трудов конференций

1. Добровольский Н. Н., Добровольский М. Н., Добровольский Н. М., Кожухов И. Б., Реброва И. Ю. О моноидах натуральных чисел // Материалы XIII Международной научно-технической конференции "Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2022)" (25–26 мая 2022, Донецк), 2022, 88-90.
2. Кафтан В.И., Родкин М.В. Эволюция магматических очагов по данным геодезических наблюдений // Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2022. Материалы LIII Тектонического совещания, 2022, 200-203.
3. Matveev M.N. Autonomous vehicle networks // IFAC World Congress 2023 (9 July – 14 July 2023, Yokohama, Japan), 2022.



Тезисы

1. Базилевская Г.А., Логачев Ю.И., Дайбог Е.И., Власова Н.А., Гинзбург Е.А., Ишков В.Н., Лазутин Л.Л., Сулова Г.М., Яковчук О.С. Солнечные протонные события без радиоизлучения II типа // 17 ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе". 7-11 февраля 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022, 54.
2. Бочаров А.В., Лебедев С.А. Оценка трансформации природных комплексов при разработке Красногорского песчаного карьера с 1990 по 2020 гг. // Актуальные проблемы геоэкологии и природопользования: Материалы I Международной научно-практической конференции (31 октября – 1 ноября 2022 г., Краснодар), 2022, 71-74.
3. Бояршинов Г.С., Пресняков С.В., Одинцова А.А. Интеграция передовых средств 3D визуализации геоданных в исследовательские и учебно-образовательные процессы // VI Всероссийская конференция с международным участием «Информационные технологии для наук о Земле и цифровизация в геологии и горнодобывающей промышленности» (ITES-2022) (3-7 октября 2022, г. Владивосток, Россия), 2022.
4. Власова Н.А., Базилевская Г.А., Гинзбург Е.А., Дайбог Е.И., Ишков В.Н., Калегаев В.В., Лазутин Л.Л., Логачев Ю.И., Нгуен М.Д., Сулова Г.М., Яковчук О.С. О солнечных протонных событиях 23, 24 и 25 циклов солнечной активности (по материалам каталогов СПС) // 17 ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе". 7-11 февраля 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022, 110.
5. Воробьев А.В., Соловьев А.А., Пилипенко В.А., Воробьева Г.Р. Геоинформационная система для прогнозирования полярных сияний // 17 ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе". 7-11 февраля 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022, 222.
6. Воробьев А.В., Соловьев А.А., Пилипенко В.А., Воробьева Г.Р. Подход к диагностированию и прогнозированию геоиндцированных токов на основе интеллектуальных методов обработки данных // 17 ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе". 7-11 февраля 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022, 236.
7. Гвишиани А.Д. Перспективы изучения Арктической Зоны РФ и Большие Данные // VI Всероссийская конференция с международным участием «Информационные технологии для наук о Земле и цифровизация в геологии и горнодобывающей промышленности» (ITES-2022) (3-7 октября 2022, г. Владивосток, Россия), 2022.
8. Гвишиани А.Д., Воробьева И.А., Шебалин П.Н., Дзобоев Б.А., Дзеранов Б.В., Скоркина А.А. Составление сводного каталога землетрясений для восточного сектора российской Арктики // Сборник тезисов докладов «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVI Международной сейсмологической школы.», 2022, 33.
9. Кафтан В.И. Концентрация масс земной коры перед сильными землетрясениями: прямые и косвенные данные // "Триггерные эффекты в геосистемах 2022" 21-24 июня 2022 г., Президиум РАН, Москва, 2022, -.



10. Комитов Б.П., Кафтан В.И. Нижняя ионосфера и земные тектонические процессы // XXVI Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика - 2022» (3-7 октября 2022, г. Санкт-Петербург, Россия). Сборник тезисов конференции, 2022.
11. Костарев Д.В., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Изменение функции распределения потоков холодных частиц под действием параллельного электрического поля альфвеновской волны // XVII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» (5-10 сентября 2022, г. Иркутск, Россия), 2022.
12. Кудин Д.В., Ягова Н.В., Пилипенко В.А. Определение особенностей мелкомасштабных авроральных структур по данным спутниковых наблюдений SWARM // 45-й Всесоюзный Семинар «Физика авроральных явлений», 14-18 марта 2022, ПГИ Апатиты, 2022.
13. Лебедев С.А., Сахно А.В. Подготовка данных спутниковой альтиметрии для решения задачи ассимиляции уровня в моделях динамики Черного моря // VI Всероссийская конференция с международным участием «Информационные технологии для наук о Земле и цифровизация в геологии и горнодобывающей промышленности» (ITES-2022) (3-7 октября 2022, г. Владивосток, Россия), 2022.
14. Пилипенко В.А., Козырева О.В., Сахаров Я.А. Может ли глобальное МГД моделирование предсказать величину геоиндуцированных токов при магнитных бурях? // 17 ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе". 7-11 февраля 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022, 256.
15. Писаренко В.Ф., Ружич В.В., Скоркина А.А., Левина Е.А. Оценка квантилей максимальной магнитуды в будущем интервале времени на примере Байкальской рифтовой зоны // "Триггерные эффекты в геосистемах 2022" 21-24 июня 2022 г., Президиум РАН, Москва, 2022, -.
16. Сергеева Н.А., Забаринская Л.П., Нисилевич М.В., Крылова Т.А., Хафизов А.С. К-индекс: исторические данные советских магнитных обсерваторий 1957-1992 гг. // 17 ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе". 7-11 февраля 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022, 153.
17. Соловьев А.А. Влияние геофизических факторов на работу железнодорожного транспорта в российской Арктике // II Конгресс молодых ученых (1–3 декабря 2022 г., Федеральная территория «Сириус»), 2022.
18. Соловьев А.А. Некоторые задачи геомагнетизма, решаемые по данным магнитных обсерваторий и спутниковых наблюдений. // Материалы Первой Всероссийской научной конференции «Добрецовские чтения: Наука из первых рук» (1-5 августа 2022, г. Новосибирск, Россия), 2022, 306.
19. Соловьев А.А., Красноперов Р.И., Попов А.Б. Создание системы геопорталов и инструментов геообработки для анализа геолого-геофизических данных // 27-я конференция пользователей Esri в России и странах СНГ. 25-28 января 2022 г., 2022.
20. Татаринев В.Н., Морозов В.Н., Камнев Е.Н., Кафтан В.И., Маневич А.И., Шевчук Р.В. Системная оценка устойчивости геологической среды при захоронении



- высокоактивных радиоактивных отходов // Международная научно-техническая конференция «Экологические аспекты горного и перерабатывающего производства» (19-20 октября 2022 г., Москва), 2022.
21. Третьяк И.Д., Лебедев С.А. Межгодовая изменчивость температуры почвы в арктической зоне северо-запада России // Актуальные проблемы геоэкологии и природопользования: Материалы I Международной научно-практической конференции (31 октября – 1 ноября 2022 г., Краснодар), 2022, 437-441.
 22. Чинкин В.Е. Алгоритм распознавания геомагнитных бурь на основе MLP-нейросети по наземным данным космических лучей // Конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН (9-11 ноября 2022 г., Москва, ИФЗ РАН), 2022, -.
 23. Шевчук Р.В., Маневич А.И. Геодинамическая модель северной части Нижнеканского массива // Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН (9-11 ноября 2022 г., Москва, ИФЗ РАН), 2022, 65.
 24. Boyarshinov G.S., Odintsova A.A. Platform of Interactive Spherical Visualization "ORBUS-PRO" // 24th China Hi-Tech Fair (CHTF) (B15-19 November 2022), 2022.
 25. Lebedev S.A. Wave field features during typhoon Damrey (11/2017) crossed Phu Yen-Khanh Hoa provincial waters, Viet Nam // International Scientific Conference BIEN DONG 2022 (13-14 September 2022, Nha Trang, Khan Hoa, Viet Nam), 2022.
 26. Massaro S., Costa A., Coppola D., Sulpizio R., Soloviev A. Detecting multiscale periodicity from the secular effusive activity at Santiaguito lava dome complex (Guatemala) // 11th Conference Cities on Volcanoes (COV11) (12-17 June 2022, Crete, Greece), 2022.
 27. Massaro S., Soloviev A., Dzeboev B. Modern strategies for data collection and analysis for the better understanding of volcanic systems // 11th Conference Cities on Volcanoes (COV11) (12-17 June 2022, Crete, Greece), 2022.
 28. Pilipenko V.A., Kozyreva O.V., Sakharov Ya.A. Is the global MHD modeling of the magnetosphere adequate for the prediction of geomagnetically induced currents? // 45-й Всесоюзный Семинар «Физика авроральных явлений», 14-18 марта 2022, ПГИ Апатиты, 2022.

Данные

1. Dokukin P.A., Kaftan V.I., Manevich A.I., Shevchuk R.V. (2022). Evolution of the seismic process and crustal total shear strain (2008-2021) under the influence of the Hikurangi mantle superplume. ESDB repository,
2. Dokukin P.A., Kaftan V.I., Manevich A.I., Shevchuk R.V. (2022). Evolution of the seismic process and horizontal dilatation strain (2008-2021) under the influence of the Hikurangi mantle superplume. ESDB repository,
3. Dokukin P.A., Kaftan V.I., Manevich A.I., Shevchuk R.V. (2022). Evolution of the seismic process and crustal movements (2008-2021) under the influence of the Hikurangi mantle superplume. ESDB repository.



4. Gvishiani A.D., Losev I.V., Tatarinov V.N., Manevich A.I., Morozov V.N., Kaftan V.I., Kolesnikov I.Yu (2022). Database of the stress-strain state of the Nizhni-Kansk massif. Цифровая библиотека открытых данных Zenodo, DOI: 10.5281/zenodo.6560841
5. Ishkov V.N (2022). Cumulative Catalog of Solar Flare Events of X-ray Class M1 - X>17.5 XXV Cycle of Solar Activity (I.2019 - VI.2030). Version 3, November 19, 2022. World Data Center for Solar-Terrestrial Physics
6. Logachev Yu.I., Bazilevskaya G.A., Daibog E.I., Ginzburg E.A, Ishkov V.N., Lazutin L.L., Nguyen M.D., Surova G.M., Vlasova N.A., Yakovchuk O.S. (2022). List of Solar Proton Events in the 24 Cycle of Solar Activity (2009–2019). ESDB repository, DOI: 10.2205/ESDB-SAD-P-007
7. Logachev Yu.I., Bazilevskaya G.A., Vlasova N.A., Ginzburg E.A., Daibog E.I., Ishkov V.N., Lazutin L.L., Nguyen M.D., Surova G.M., Yakovchouk O.S. (2022). Catalog of Solar Proton Events in the 24th Cycle of Solar Activity (2009–2019). ESDB repository, DOI: 10.2205/ESDB-SAD-008
8. Rostovtseva Yu., Rybkina A., Odintsova A. (2022). Database on assessment of the influence of astronomical cyclicity on sedimentation processes in Paratethys based on paleomagnetic measurement. ESDB repository, DOI: 10.2205/2022-Paratethys



Данные о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности (РИД) Геофизического центра РАН

Программы для ЭВМ

1. Агаян С.М., Богоутдинов Ш.Р., Дзедоев Б.А., Одинцова А.А. Программа для определения периодов временных рядов на базе нечеткой логики / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022618519 от 12 мая 2022 г.
2. Агаян С.М., Богоутдинов Ш.Р., Осипов М.О. Итерационный DPS / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682268 от 21 ноября 2022 г.
3. Богоутдинов Ш.Р., Агаян С.М., Соловьев А.А., Николова Ю.И. Программа расчета регрессионных производных по данным геомагнитных наблюдений / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682270 от 21 ноября 2022 г.
4. Колесников И.Ю., Татаринев В.Н., Татаринев Т.А. GEO_PLATE / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682294 от 21 ноября 2022 г.
5. Маневич А.И., Пономарев А.В., Урманов Д.И., Шакиров А.И., Программа для регрессионного анализа временных рядов смещений земной поверхности в среде Python / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022619175 от 19 мая 2022 г.
6. Пресняков С.В., Бояршинов Г.С. KML_LOADER 1.0 / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022683058 от 30 ноября 2022 г.
7. Пресняков С.В., Бояршинов Г.С., Одинцова А.А., Боровская Т.Е., Дьяков В.В. ORBUS 3.0 / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022683072 от 30 ноября 2022 г.
8. Серых И.В. Программный комплекс для корреляционного, спектрального и вейвлетного анализа временных рядов / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617085 от 18 апреля 2022 г.
9. Сидоров Р.В., Соловьев А.А., Шевчук Р.В., Груднев А.А. Программа обработки данных аэромагнитной съемки для БПЛА мультироторного типа / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682337 от 22 ноября 2022 г.
10. Урманов Д.И., Шакиров А.И., Маневич А.И. Программа для расчета распределения скоростей деформаций земной коры SEtools 2.0 / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022619176 от 19 мая 2022 г.
11. Шакиров А.И., Урманов Д.И., Маневич А.И. Программа для динамической визуализации и анализа параметров деформаций в среде Python / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022619098 от 19 мая 2022 г.



Базы данных

1. Лебедев С.А. ИБДСА Белое море – значимые высоты волн / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022620801 от 15 апреля 2022 г.
2. Лебедев С.А. ИБДСА Баренцево море - значимые высоты волн / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623066 от 23 ноября 2022 г.
3. Лосев И.В., Маневич А.И., Шевчук Р.В., Татаринов В.Н. База данных напряженно-деформированного состояния Нижне-Канского массива / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623073 от 24 ноября 2022 г.
4. Сергеева Н.А., Забаринская Л.П., Книппер Н.И. Исторические землетрясения в сейсмоактивной зоне Алтай и Саяны, 1922-1957 гг. / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623176 от 1 декабря 2022 г.
5. Сергеева Н.А., Забаринская Л.П., Никитина И.М., Книппер Н.И. Исторические землетрясения в сейсмоактивной зоне Арктика, 1908-1958 гг. / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623079 от 24 ноября 2022 г.
6. Сергеева Н.А., Забаринская Л.П., Книппер Н.И. Исторические землетрясения в сейсмоактивных зонах Восточные Карпаты и Крым, 1908-1957 гг. / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623078 от 24 ноября 2022 г.
7. Сергеева Н.А., Забаринская Л.П., Никитина И.М., Книппер Н.И. Исторические землетрясения в сейсмоактивной зоне Дальний Восток, 1911-1956 гг. / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623074 от 24 ноября 2022 г.
8. Сергеева Н.А., Забаринская Л.П., Книппер Н.И. Исторические землетрясения в сейсмоактивной зоне Кавказ, 1911-1957 гг. / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623064 от 23 ноября 2022 г.
9. Сергеева Н.А., Забаринская Л.П., Никитина И.М., Книппер Н.И. Исторические землетрясения в сейсмоактивной зоне Прибайкалье, 1912-1957 гг. / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623065 от 23 ноября 2022 г.
10. Сергеева Н.А., Забаринская Л.П., Книппер Н.И. Исторические землетрясения в сейсмоактивной зоне Средняя Азия, 1911-1957 гг. / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623011 от 22 ноября 2022 г.