

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 2023 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 2023  
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 2023. It contains information on the main results obtained within the budgetary funding. It also includes the results of scientific research supported by the Russian Science Foundation (RSF). The international activity of the Geophysical Center, including the National Geophysical Committee of the Russian Academy of Sciences (NGC RAS), is presented. The report contains a list of publications as well as information on intellectual property of the Geophysical Center for the year 2023.

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 31.08.2024

Layout Production:

E. O. Kedrov, T. M. Kudryavtseva

<https://doi.org/10.2205/2024BS058>

Soloviev, A. A., R. I. Krasnoperov, Eds. (2024), Report of Geophysical Center RAS for 2023. Results of Scientific Research and International Projects, Geoinf. Res. Papers, Vol. 12, No. 1, BS1001 <https://doi.org/10.2205/2024BS058>

M.: Geoinformatics Research Papers. Proceedings of the Geophysical Center RAS, 2024, 160 pp.

ISSN: 2308-5983

© 2024 Geophysical Center RAS



В настоящем издании содержатся сведения о научной деятельности Геофизического центра Российской академии наук в 2023 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). 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 2023 г.

Ответственные редакторы:

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

Р. И. Краснощёров, учёный секретарь ГЦ РАН

Редколлегия:

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

Э. О. Кедров, к.ф.-м.н.

Утверждено к печати 31.08.2024 г.

Компьютерная подготовка оригинал-макета:

Э. О. Кедров, Т. М. Кудрявцева

<https://doi.org/10.2205/2024BS058>

Соловьёв, А. А., Р. И. Краснощёров (ред.) (2024) Отчет о деятельности Геофизического центра РАН за 2023 год. Результаты научных исследований и международных проектов. М.: Исследования по геоинформатике, т. 12, №1 <https://doi.org/10.2205/2024BS058>

М.: Исследования по геоинформатике. Труды ГЦ РАН, 2024, 160 с.

ISSN 2308-5983

© ГЦ РАН, 2024



## 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 .....	35
4 Структурирование, визуализация, анализ и распространение геофизических данных.....	50
5 Разработка теоретических основ и экспериментальных методик системного анализа для комплексного изучения геофизических, геодезических и метеорологических данных.....	95
6 Системный анализ динамики геофизических процессов в российской Арктике и их воздействие на развитие и функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта.....	106
7 Системная оценка сейсмической опасности центральной части Большого Кавказа (Осетинский сектор).....	119
8 Международная деятельность ГЦ РАН в 2023 году .....	129
9 Деятельность Национального геофизического комитета РАН .....	132
Список основных научных публикаций за 2023 год .....	134
Данные о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности (РИД) Геофизического центра РАН .....	150



## 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 2023 г. была сосредоточена на выполнении государственного задания № 075-01349-23-00, утвержденного 29 декабря 2022 г. Исследования проводились в рамках Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.). 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. Татаринев
- 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. Соловьёв
- 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. Дзедобоев



- 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; Сектор геофизического мониторинга

Руководитель: к.ф.-м.н. Р. В. Сидоров

## 1.2 Проекты научных фондов

В 2023 г. в ГЦ РАН выполнялись исследования по 2 грантам Российского научного фонда (РНФ):

- 1 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/>

- 2 Грант РНФ № 23-17-00176: «Системная оценка сейсмической опасности центральной части Большого Кавказа (Осетинский сектор)»

Регистрационный номер: 123070600012-8

Руководитель: д.ф.-м.н. Б. А. Дзобоев

<https://rscf.ru/project/23-17-00176/>

## 1.3 Важнейшие результаты фундаментальных научных исследований

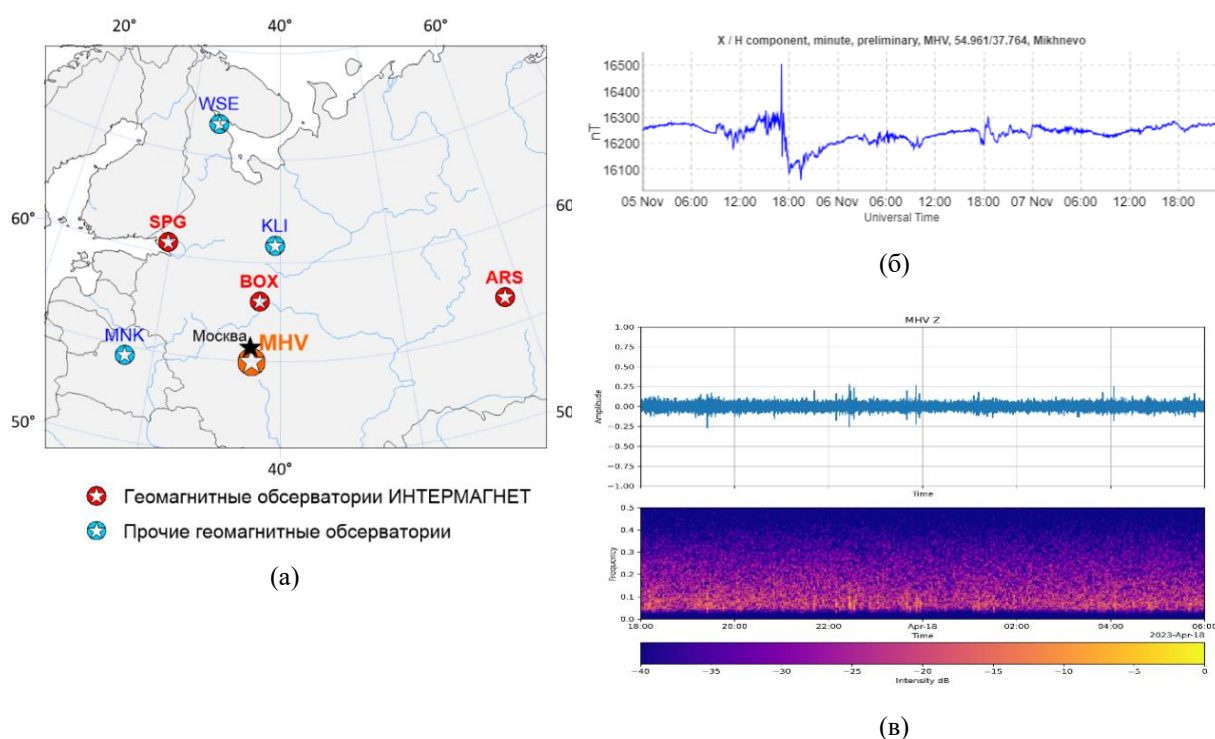
### Организация высокоточных секундных геомагнитных наблюдений в Московском регионе

*Чл.-корр. РАН А. А. Соловьёв, академик РАН А. Д. Гвишиани, д.ф.-м.н. С. Б. Турунтаев, к.ф.-м.н. Р. В. Сидоров, к.ф.-м.н. И. А. Ряховский, к.т.н. Д. В. Кудин, к.ф.-м.н. Р. И. Краснощёров, А. А. Груднев*

*(Тема НИР «Разработка теоретических основ и экспериментальных методик системного анализа для комплексного изучения геофизических, геодезических и метеорологических данных»)*

Развёрнут и введён в эксплуатацию пункт высокоточных секундных магнитных наблюдений на базе геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН (рис. 1.1). Это

первая современная геомагнитная обсерватория на обширной территории центрального региона РФ, которая регистрирует высококачественные данные с 1-секундной дискретизацией. Обсерватория расположена на удалении от источников техногенных электромагнитных помех, что подтверждают шумовые характеристики регистрируемых данных. Развёртывание обсерватории производилось с учетом многолетнего опыта, накопленного специалистами ГЦ РАН, и рекомендаций международной сети геомагнитных наблюдений ИНТЕРМАГНЕТ. Ввод в эксплуатацию обсерватории «Михнево» позволит получать уникальные данные об эволюции геомагнитного поля и обеспечит высокоточный геофизический мониторинг Московского региона.



**Рисунок 1.1 – Геомагнитная обсерватория «Михнево»: а) расположение относительно других обсерваторий РФ и ближнего зарубежья; б) пример данных наблюдений горизонтальной компоненты вектора поля; в) шумовые характеристики 1-секундных наблюдений вертикальной компоненты**

Krasnoperov R., Sidorov R., Grudnev A., Karapetyan J., Lazarev D. On the magnetic properties of construction materials for magnetic observatories // *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. No. 4. DOI: 10.3390/app13042246.

Soloviev A., Gvishiani A., Turuntaev S., Sidorov R., Ryakhovsky I., Kudin D., Krasnoperov R., Grudnev A. Geomagnetic data recorded at Geomagnetic Observatory Mikhnevo (IAGA code: MHV). MHV2023 geomagnetic database // ESDB repository, GCRAS, Moscow. 2023. DOI: 10.2205/MHV2023sec.

## Каталог землетрясений Арктической зоны РФ с унифицированной магнитудной шкалой

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

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

Впервые создан наиболее полный и представительный каталог землетрясений АЗРФ (включая хребты Гаккеля и Книповича, а также архипелаг Шпицберген) с унифицированной магнитудной шкалой (рис. 1.2). Каталог представляет собой объединение данных о землетрясениях из региональных каталогов ФИЦ ЕГС РАН (Якутия, Северо-восток России, Камчатка, Арктика, Восточно-Европейская платформа и Шпицберген), регионального каталога сейсмической сети ФИЦКИА УрО РАН, регионального каталога западного сектора АЗРФ и данных Международного сейсмологического центра. Каталог содержит информацию о 45 793 сейсмических событиях за период 1962–2022 гг. Авторская унифицированная магнитудная шкала, сведенная к  $m_{w}$ , является однородной. Каталог выложен в открытый доступ на сайте Мирового центра данных по физике твердой Земли ГЦ РАН: [http://www.wdcb.ru/arctic\\_antarctic/arctic\\_seism.ru.html](http://www.wdcb.ru/arctic_antarctic/arctic_seism.ru.html).

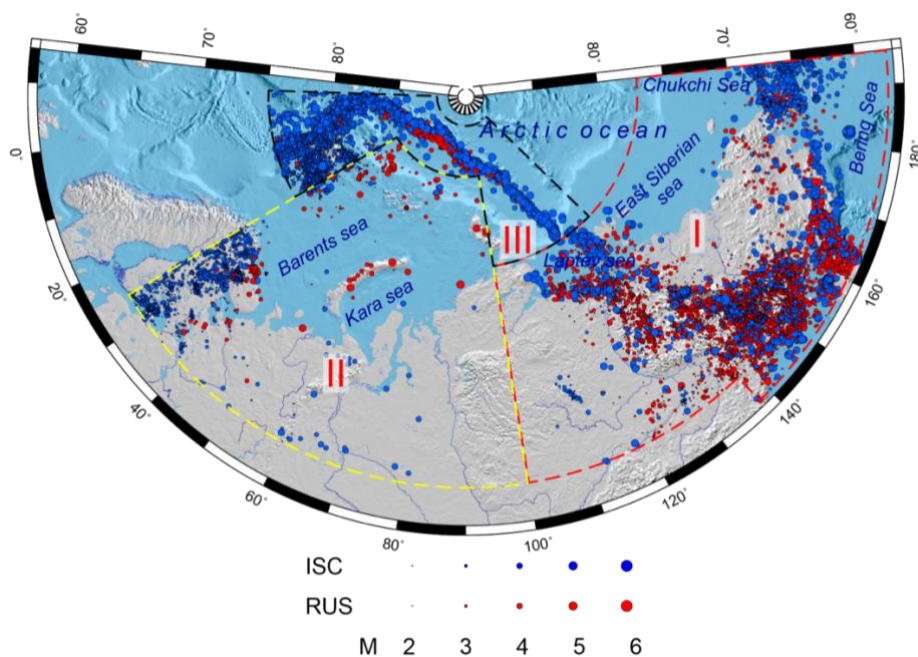


Рисунок 1.2 – Объединенный каталог землетрясений Арктической зоны Российской Федерации. I – Восточный сектор АЗРФ; II – Западный сектор АЗРФ; III – хребты Гаккеля и Книповича, архипелаг Шпицберген



Vorobieva I. A., Gvishiani A. D., Shebalin P. N., Dzeboev B. A., Dzeranov B. V., Skorkina A. A., Sergeeva N. A., Fomenko N. A. Integrated Earthquake Catalog II: The Western Sector of the Russian Arctic // *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. No. 12. 7084. DOI: 10.3390/app13127084.

Vorobieva I. A., Gvishiani A. D., Shebalin P. N., Dzeboev B. A., Dzeranov B. V., Sergeeva N. A., Kedrov E. O., Barykina Y. V. Integrated Earthquake Catalog III: Gakkel Ridge, Knipovich Ridge, and Svalbard Archipelago // *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. No. 22. 12422. DOI: 10.3390/app132212422.

### **Трёхмерная комплексная модель параметров литосферы и верхней мантии Арктики**

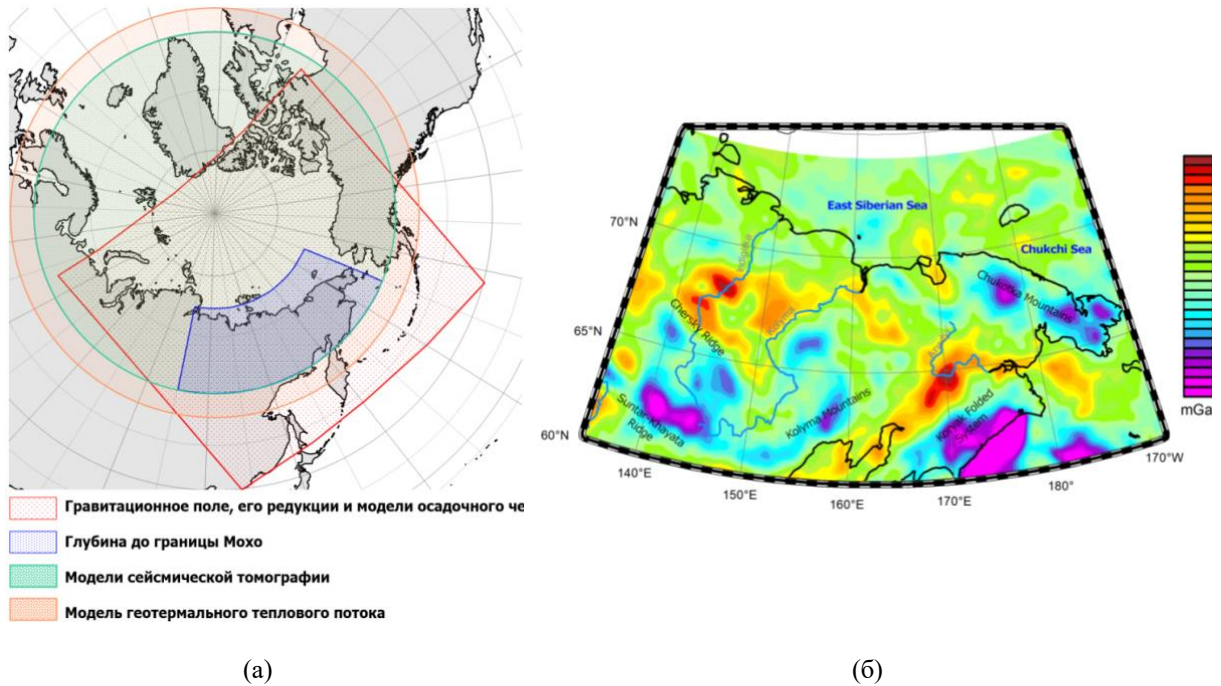
*Чл.-корр. РАН А. А. Соловьёв, д.ф.-м.н. М. К. Кабан, к.ф.-м.н. А. Г. Петрунин, к.ф.-м.н. Р. В. Сидоров*

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

Создана комплексная модель, описывающая широкое многообразие геолого-геофизических характеристик литосферы АЗРФ. Регион характеризуется сложным геологическим строением и слабой изученностью прямыми геофизическими методами. Набор данных включает в себя информацию о гравитационном поле и его редукции, тепловом потоке, срезы четырёх сейсмотомографических моделей с шагом 50 км по глубине. В набор включены новые модели осадочного чехла и глубины Мохо, данные глубинного распределения температуры и степени деплетированности мантийного вещества в форме процентного содержания оливина. Построена карта эффективной радиогенной теплогенерации в верхнем слое коры и карта глубин до точки Кюри. Модель полезна для изучения территорий, перспективных для поиска месторождений полезных ископаемых. База данных доступна на сайте Мирового центра данных по физике твёрдой Земли ГЦ РАН: [http://www.wdcb.ru/arctic\\_antarctic/arctic\\_geoph.fields.ru.html](http://www.wdcb.ru/arctic_antarctic/arctic_geoph.fields.ru.html).

Soloviev A., Petrunin A., Gvozdik S., Sidorov R. A set of geophysical fields for modeling of the lithosphere structure and dynamics in the Russian Arctic Zone // *Data*. 2023. Vol. 8. No. 5. 91. DOI: 10.3390/data8050091.





**Рисунок 1.3 – Трёхмерная комплексная модель параметров литосферы и верхней мантии Арктики: а) пространственное покрытие полей; б) пример карты изостатических аномалий силы тяжести**

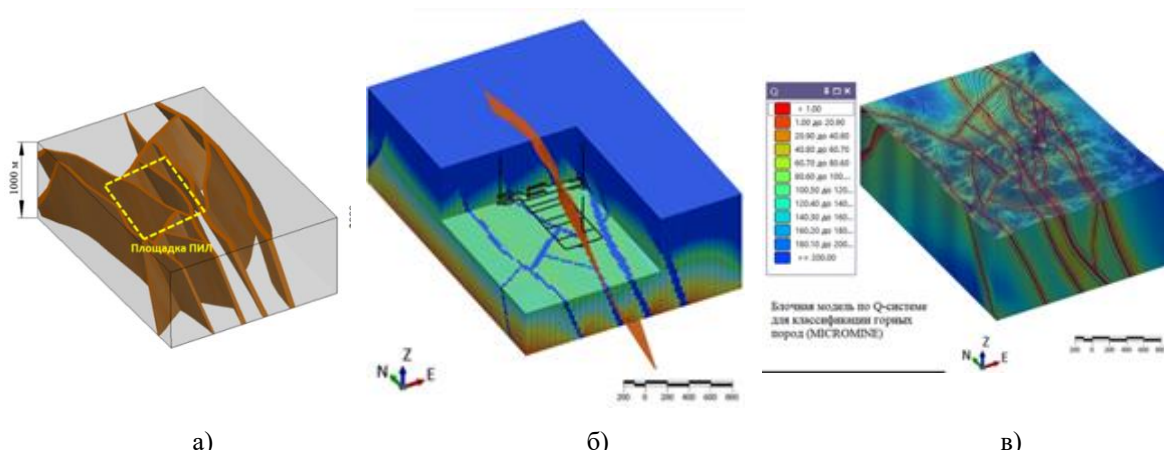
### **Трёхмерная геомеханическая модель участка «Енисейский» Нижне-Канского массива**

*Чл.-корр. РАН В. Н. Татаринов, Д. Ж. Акматов, А. И. Маневич, Р. В. Шевчук*

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

Разработанная модель предназначена для оценки и прогноза геомеханических процессов в приконтурной части подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ), создаваемой для обоснования геоэкологически безопасной изоляции высокоактивных РАО в гранитогнейсах Нижне-Канского массива. Ее использование позволяет повысить достоверность расчетов напряженно-деформированного состояния пород и прогноза длительной устойчивости геологической среды.

Созданная модель включает в себя литологические разности, структурно-тектонические характеристики, физико-механические свойства пород, а также рейтинговые классификации, основанные на эмпирических зависимостях. Модель представляет собой пополняемый цифровой двойник участка «Енисейский».



**Рисунок 1.4 – Геомеханическая трехмерная модель участка строительства подземной исследовательской лаборатории в Нижне-Канском массиве: а) структурная модель; б) модель напряженно-деформированного состояния; в) блочная модель рейтинговой классификации пород в геологической ГИС Macromine**

Акматов Д. Ж., Маневич А. И., Татаринов В. Н., Шевчук Р. В. Трёхмерная структурно-тектоническая модель участка «Енисейский» (Нижнеканский массив) // *Горный журнал*. 2023. №1. с. 69–74. DOI: 10.17580/gzh.2023.01.11.

#### 1.4 Награды и премии

В 2023 г. сотрудники ГЦ РАН были удостоены высоких ведомственных наград. Научный руководитель академик РАН А. Д. Гвишиани был награжден медалью Петра Губонина Министерства транспорта РФ. Заведующему сектором к.т.н. Д. В. Кудину был вручен нагрудный знак «Молодой ученый» Министерства науки и высшего образования РФ. За заслуги перед геодезической отраслью главному научному сотруднику д.т.н. В. И. Кафтану была вручена памятная медаль «50 лет Российского общества геодезии, картографии и землеустройства». Главный научный сотрудник д.ф.-м.н. А. А. Лушников был удостоен Благодарности Министерства науки и высшего образования РФ.

#### 1.5 Договорная деятельность

В 2023 г. договорная деятельность ГЦ РАН включала выполнение обязательств по 9 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: ГК «Роскосмос»





- 2 Договор на выполнение НИР.  
Предмет: Проведение режимных геодинамических наблюдений, обработка данных сейсмического мониторинга и оценка напряженно-деформированного состояния породного массива в районе расположения подземной исследовательской лаборатории.  
Заказчик: ИБРАЭ РАН, ГК «Росатом»
- 3 Договор на выполнение НИР.  
Предмет: Анализ климатических изменений на основе атласа основных гидрометеорологических параметров центральной и западной части российской Арктики за период 1980–2021 гг. и прогноз на 2023–2064 гг.  
Заказчик: АО «НИИАС» / ОАО «РЖД».
- 4 Договор на выполнение НИР.  
Предмет: Создание магнитной обсерватории на полуострове Ямал (пос. Сабетта) для проведения геомагнитных исследований в арктическом регионе.  
Заказчик: Компания Schlumberger.
- 5 Договор на выполнение НИР.  
Предмет: Услуги по расчету опорных значений компонентов геомагнитного поля.  
Заказчик: АО «ИГиРГИ» / ПАО «НК „Роснефть“».
- 6 Договор на оказание услуг.  
Предмет: Проведение оценочно-разведывательных работ для определения местоположения магнитной обсерватории для поддержки наклонно-направленного бурения на месторождении.  
Заказчик: Научно-Технический Центр «ТПМ» / ПАО «Газпром».
- 7 Договор на оказание услуг.  
Предмет: Организация передачи в реальном времени обсерваторских данных.  
Заказчик: Научно-Технический Центр «ТПМ» / ПАО «Газпром».
- 8 Договор на ОКР.  
Предмет: Разработка аппаратно-программного комплекса со сферическим проекционным экраном диаметром один метр для визуализации геопространственных данных.  
Заказчик: АО «Главкосмос» / ГК «Роскосмос», Центр ДЗЗ Республики Союз Мьянма



9 Договор на оказание услуг.

Предмет: Издание специального выпуска журнала Russian Journal of Earth Sciences.

Заказчик: Майкопский государственный технологический университет.

### 1.6 Экспедиции и полевые работы

В 2023 г. сотрудники ГЦ РАН приняли участие в целом ряде экспедиций и выезжали на научные полевые работы (рис. 1.5). 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 «Иркутск», Иркутская обл. (январь)

Участники: А. А. Груднев, Д. В. Кудин.

Задачи: Работы по модернизации комплекта магнитометрического оборудования обсерватории.

- Экспериментальный полигон «Неверково», Владимирская обл. (февраль)

Участники: И. М. Алешин, В. В. Дьяков.

Задачи: Сличительная магнитометрическая съемка классическим наземным методом и с использованием БПЛА Геоскан 401.

- Иркутская обл. (апрель – май, июнь, сентябрь)

Участники: А. А. Груднев, В. В. Дьяков, Р. И. Краснопёров, В. Н. Сергеев, Р. В. Сидоров, К. И. Холодков, Р. В. Шевчук.

Задачи: Определение перспективных участков, пригодных для развертывания магнитной обсерватории стандарта ИНТЕРМАГНЕТ.

- Республика Северная Осетия – Алания (июнь)

Участники: Б. В. Дзеранов, А. И. Маневич.

Задачи: Рекогносцировка местности и обследование геодезических пунктов для решения задач в рамках гранта РФФИ № 23-17-00176.

- Республика Северная Осетия – Алания (июль)

Участники: Д. Ж. Акматов, Б. В. Дзеранов, А. И. Маневич

Задачи: Закладка пунктов ГНСС-сети геодинамического полигона в районе расположения Восточных ветвей Владикавказского разлома в рамках гранта РФФИ № 23-17-00176.

- Ладожское озеро, Ласкельский район, Карелия (июль)



Участники: И. М. Алешин, В. В. Дьяков, К. И. Холодков.

Задачи: Проведение аэромагнитной съемки.

- Обсерватория «Михнево», Московская обл. (июль, август, сентябрь, декабрь)

Участники: А. А. Соловьёв, А. Д. Гвишиани, Ю. В. Барыкина, А. А. Груднев, Э. О. Кедров, Р. И. Краснопёров, Д. В. Кудин, М. А. Пасишниченко, Р. В. Сидоров, Д. Ж. Акматов, Д. Д. Лазарев, В. Н. Сергеев, В. В. Дьяков, К. И. Холодков.

Задачи: Определение азимута визирной цели. Технические работы. Проведение аэромагнитной съемки. Открытие обсерватории.

- г. Железногорск, Красноярский край (август)

Участники: А. И. Маневич, Р. В. Шевчук, И. В. Лосев.

Задачи: Повторные съемки на геодинамическом полигоне.

- Республика Северная Осетия – Алания (сентябрь – октябрь)

Участники: Д. Ж. Акматов, Б. В. Дзеранов, И. В. Лосев, А. И. Маневич, М. А. Пасишниченко, Р. В. Шевчук

Задачи: Геодезическая съемка на геодинамическом полигоне в районе Восточных ветвей Владикавказского разлома для решения задач в рамках гранта

РНФ № 23-17-00176.

- Ступинский район Московской обл. (декабрь)

Участники: А. А. Груднев, В. В. Дьяков, Д. В. Кудин

Задачи: Регистрация геомагнитных вариаций вблизи ЛЭП.



Рисунок 1.5 – Экспедиции ГЦ РАН в 2023 г.

### 1.7 Популяризация науки

С 5 по 8 июня 2023 г. в г. Видном Московской области прошла III Всероссийская школа молодых ученых «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (<https://school2023.gcras.ru/>). Школа была организована при финансовой поддержке Российского научного фонда и приурочена к 300-летию юбилею Российской академии наук. Мероприятие продолжило серию ежегодных школ молодых учёных, проводимых в рамках проекта Российского научного фонда «Системный анализ динамики геофизических процессов в российской Арктике и их воздействие на развитие, и функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта» (рис. 1.6).

В рамках научной программы участникам были представлены 24 лекции от ведущих российских ученых и специалистов в области геофизики, климатологии, океанологии, дистанционного зондирования, геоинформатики и системного анализа, биологии, экологии, транспорта и других смежных дисциплин. Программа была разработана таким образом, чтобы предоставить участникам широкий обзор ключевых аспектов исследования Арктики и понимания ее значимости для будущего планеты. Дополнительно для участников была организована деловая игра, направленная на командное решение тематических задач, а также практический мастер-класс по обработке геофизических данных.



В работе Школы приняли участие в качестве слушателей 41 молодой учёных, прибывших из Петропавловска-Камчатского, Владивостока, Якутска, Томска, Новосибирска, Бишкека (Киргизия), Тюмени, Екатеринбурга, Уфы, Казани, Сыктывкара, Владикавказа, Архангельска, Москвы и Санкт-Петербурга. В ходе тематических сессий шла оживленная дискуссия между лекторами и слушателями Школы. Слушатели продемонстрировали не только общую заинтересованность темой, но и глубокое ее понимание и достаточно высокий уровень подготовки и профессиональных компетенций.

Для эффективного общения со слушателями активно использовался Telegram-канал Школы: <https://t.me/geoarctic>.



**Рисунок 1.6 – Участники III Всероссийской школы молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике»**

В 2023 г. сотрудники ГЦ РАН также вели активную работу в сфере популяризации и широкого распространения научного знания в СМИ.

- «Газета.RU»: «Магнитные космотрясения. Как они влияют на организм и линии электропередачи»  
(<https://www.gazeta.ru/science/2023/01/10/16059301.shtml?updated>);
- «Молодёжная газета»: «Ученые из Уфы разработали уникальную систему для наблюдения и прогнозирования полярных сияний» (<https://mgazeta.com/articles/interesno/2023-01-16/uchenye-iz-ufy-razrabotali-unikalnuyu-sistemu-dlya-nablyudeniya-i-prognozirovaniya-polyarnyh-siyaniy-3107379>);
- «Комсомольская правда»: «Ученые из Уфы разработали систему по наблюдению и прогнозированию полярных сияний»  
(<https://www.ufa.kp.ru/online/news/5099291/>);



**Рисунок 1.7 – Освещение деятельности ГЦ РАН в СМИ**

- «Аргументы и факты»: «Ученые из Уфы разработали уникальную систему для наблюдения полярных сияний» ([https://ufa.aif.ru/society/details/uchenye\\_iz\\_ufy\\_razrabotali\\_unikalnuyu\\_sistemu\\_dlya\\_nablyudeniya\\_polyarnyh\\_siyaniy](https://ufa.aif.ru/society/details/uchenye_iz_ufy_razrabotali_unikalnuyu_sistemu_dlya_nablyudeniya_polyarnyh_siyaniy));
- «Таймырский телеграф»: «Модель прогнозирования полярных сияний создали ученые из Уфы» (<https://www.ttelegraf.ru/news/model-prognozirovaniya-polyarnyh-siyaniy-sozdali-uchenye-iz-ufy>);
- «Газета.RU»: «Жизнь под "нимбом". Как полярные сияния влияют на связь и железнодорожное сообщение» (<https://m.gazeta.ru/science/2023/01/18/16098127.shtml>);



- «Вестник ОНЗ РАН»: «Магнитные космотрясения. Как они влияют на организм и линии электропередачи» (<https://onznews.wdcb.ru/yan23/magnitnye-kosmotryaseniya-kak-oni-vliyayut-na-organizm-i-linii-elektroperedachi.html>);
- «the Arctic»: «Разработка российских учёных позволит корректировать работу технических систем в Заполярье» (<https://ru.arctic.ru/environmental/20230118/1014230.html>);
- Новости портала РАН: Председатель Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики, научный руководитель Геофизического центра РАН, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор Алексей Джерменович Гвишиани принял участие во встрече: «Президент РАН Г. Я. Красников встретился с руководством Российского университета транспорта» (<https://new.ras.ru/activities/news/prezident-ran-g-ya-krasnikova-g-ya-vstretilsya-s-rukovodstvom-rossiyskogo-universiteta-transporta/>);
- Газета «Поиск»: Главный научный сотрудник лаборатории геодинамики доктор технических наук Владимир Иванович Кафтан: «Предсказание или гипотеза? Ученые выявляют признаки грядущих катаклизмов» (<https://poisknews.ru/sejsmologiya/predskazanie-ili-gipoteza-uchenye-vyyavlyayut-priznaki-gryadushhih-kataklyzmov/>);
- «Наука в Сибири»: «Полярный остров на перезагрузку» (<https://www.sbras.info/articles/infrastruktura/polyarnyy-ostrov-na-perezagruzku>);
- «Телекомпания НТВ»: Директор Геофизического центра РАН чл.-корр. РАН Анатолий Александрович Соловьёв принял участие в программе «Мы и наука. Наука и мы» ([https://www.ntv.ru/peredacha/Mi\\_i\\_nauka/m56446/o720949/video/](https://www.ntv.ru/peredacha/Mi_i_nauka/m56446/o720949/video/));
- «Российская газета»: «Российские ученые совместно с турецкими исследователями разработали новый метод прогноза землетрясений» (<https://rg.ru/2023/04/04/tochka-udara.html>);
- «Россия-1»: Директор Геофизического центра РАН чл.-корр. РАН Анатолий Александрович Соловьёв и сотрудники рассказали о мониторинге магнитного поля Земли, осуществляемом институтом в программе «Утро России» (<https://youtu.be/cONrNrXsMQ>);
- Газета «Поиск» А. Субботин: «Время Больших. РАН созрела для создания Дата-центра» – научный руководитель Геофизического центра академик РАН Алексей Джерменович Гвишиани на прошедшем заседании Президиума РАН выступил с докладом «Системный анализ больших данных для наук о Земле» ([https://gcras.ru/doc/news/poisk\\_BD\\_14\\_20230407.pdf](https://gcras.ru/doc/news/poisk_BD_14_20230407.pdf));
- ИА «Адыгея Сегодня»: «Ректор МГТУ вручила дипломы и мантии Почетных профессоров вуза». В частности, высокое звание было присвоено главному научному сотруднику ГЦ РАН д.ф.-м.н. С. А. Лебедеву и ведущему научному





- сотруднику ГЦ РАН д.ф.-м.н. А. Г. Костяному (<https://adigeatoday.ru/news/45473.html>);
- Новости портала РАН: «Новая геомагнитная обсерватория "Михнево" регистрирует компоненты полного вектора магнитного поля Земли в реальном времени» (<https://new.ras.ru/activities/news/novaya-geomagnitnaya-observatoriya-mikhnevo-registriruet-komponent-polnogo-vektora-magnitnogo-polya-/>);
  - «Поиск»: «Бури — под контроль» (<https://poisknews.ru/magazine/buri-pod-kontrol/>);
  - Новости портала РАН: «Электронный атлас отразил климатические изменения на западе Российской Арктики» (<https://new.ras.ru/activities/news/elektronnyy-atlas-otrazil-klimaticheskie-izmeneniya-na-zapade-rossiyskoy-arktiki/>);
  - «Вестник ОНЗ РАН»: «Ученые ГЦ РАН рассказали об экспедиции в район строительства подземной исследовательской лаборатории» (<https://onznews.wdcb.ru/sep23/uchenye-gts-ran-rasskazali-ob-ekspeditsii-v-rajon-stroitelstva-podzemnoj-issledovatel'skoj-laboratorii.html>);
  - Новости портала РАН: «Экспедиция в район строительства подземной исследовательской лаборатории» (<https://new.ras.ru/activities/news/ekspeditsiya-v-rajon-stroitelstva-podzemnoj-issledovatel'skoj-laboratorii/>);
  - «Телекомпания НТВ»: Научный руководитель ГЦ РАН академик РАН А. Д. Гвишиани принял участие в передаче «Мы и наука. Наука и мы» ([https://www.ntv.ru/peredacha/Mi\\_i\\_nauka/m56446/o742144](https://www.ntv.ru/peredacha/Mi_i_nauka/m56446/o742144));
  - Новости портала РАН: «На фестивале "Наука 0+" расскажут о Земле» (<https://new.ras.ru/activities/news/na-festivale-nauka-0-rasskazhut-o-zemle/>);
  - Новости портала РАН: «Делегация совета посетила ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова». Делегация во главе с заместителем председателя Научного совета РАН «Окружающая среда и транспорт», научным руководителем ГЦ РАН академиком РАН А. Д. Гвишиани нанесли рабочий визит в ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова (<https://new.ras.ru/activities/news/delegatsiya-soveta-posetila-gumrf-imeni-admirala-s-o-makarova/>);
  - Корабел.ру: «В ГУМРФ обсудили перспективы сотрудничества академической и отраслевой науки» ([https://www.korabel.ru/news/comments/v\\_gumrf\\_obsudili\\_perspektivy\\_sotrudnichestva\\_akademicheskoy\\_i\\_otraslevoy\\_nauki.html](https://www.korabel.ru/news/comments/v_gumrf_obsudili_perspektivy_sotrudnichestva_akademicheskoy_i_otraslevoy_nauki.html));
  - РНФ: Сотрудники Геофизического центра РАН провели масштабные полевые исследования в Республике Северная Осетия – Алания. ([https://vk.com/rnfrpage?w=wall-107824202\\_6731](https://vk.com/rnfrpage?w=wall-107824202_6731));
  - «Вестник ОНЗ РАН»: «Вышла книга о чл.-корр. РАН А. А. Соловьёве». Воспоминаниями поделились директор ГЦ РАН чл.-корр. РАН А. А. Соловьёв





- и научный руководитель ГЦ РАН академик РАН А. Д. Гвишиани (<https://onznnews.wdcb.ru/nov23/vyshla-kniga-o-chl-korr-ran-a-a-solovjove.html>);
- Портал «Наука.рф»: Ведущий научный сотрудник Геофизического центра РАН кандидат физико-математических наук Роман Викторович Сидоров: «Поймать волну: зачем нужны геомагнитные обсерватории» (<https://наука.рф/journal/poymat-magnitnuyu-volnu-zachem-nuzhny-geomagnitnye-observatorii/>);
  - Новости портала РАН: Ведущий научный сотрудник Геофизического центра РАН кандидат физико-математических наук Роман Викторович Сидоров: «Технологии и возможности геомагнитных обсерваторий» (<https://new.ras.ru/activities/news/tekhnologii-i-vozmozhnosti-geomagnitnykh-observatorii/>);
  - Новости портала РАН: «Интенсивность геомагнитных бурь будет расти». Комментарий старшего научного сотрудника, заведующего сектором геофизического мониторинга Геофизического центра РАН к.т.н. Д. В. Кудина и ведущего научного сотрудника ГЦ РАН к.ф.-м.н. Р. В. Сидорова (<https://new.ras.ru/activities/news/intensivnost-geomagnitnykh-bur-budet-rasti/>);
  - «Вестник ОНЗ РАН»: «Ученые ГЦ РАН изучают геодинамику в районе строительства подземной исследовательской лаборатории в Красноярском крае». Интервью с заведующим лабораторией геодинамики ГЦ РАН чл.-корр. РАН д.т.н. В. Н. Татариновым (<https://onznnews.wdcb.ru/nov23/uchenye-gts-ran-izuchayut-geodinamiku-v-rajone-stroitelstva-podzemnoj-issledovatel'skoj-laboratorii-v-krasnoyarskom-krae.html>);
  - РНФ: «Ученые ГЦ РАН создали интегрированный каталог землетрясений Арктической зоны России» (<https://rscf.ru/news/presidential-program/uchenye-gts-ran-sozdali-integrirovannyy-katalog-zemletryaseni-arkticheskoy-zony-rossii/>);
  - Телеканал «Наука»: «Геофизики рассказали, аномальна ли нынешняя активность Солнца и влияет ли она на людей» ([https://naukatv.ru/news/geofizik\\_rasskazal\\_yavlyaetsya\\_li\\_nyneshnyaya\\_intensivnost\\_solntsa\\_anomalnoj\\_i\\_vredit\\_li\\_zdorovyu\\_lyudej/](https://naukatv.ru/news/geofizik_rasskazal_yavlyaetsya_li_nyneshnyaya_intensivnost_solntsa_anomalnoj_i_vredit_li_zdorovyu_lyudej/));
  - Наука.рф: «Геофизики создали интегрированный каталог землетрясений в Арктике» (<https://наука.рф/news/geofiziki-sozdali-integrirovannyy-katalog-zemletryaseni-v-arktike/>);
  - «МК в Архангельске»: «Ученые создали каталог землетрясений Арктической зоны России» (<https://arh.mk.ru/social/2023/12/10/uchenye-sozdali-katalog-zemletryaseni-arkticheskoy-zony-rossii.html>).



## **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: чл.-корр. РАН, зав. лаб. д.т.н. В. Н. Татаринев

Ответственные исполнители: проф., д.т.н. В. Н. Морозов,  
д.т.н. В. И. Кафтан, н.с. А. И. Маневич, м.н.с. Р. В. Шевчук, м.н.с. Д. Ж. Акматов

### **2.1 Исследование методических подходов к прогнозированию мест будущих сильных коровых землетрясений и криповых процессов в зонах орогенеза по данным ГНСС-наблюдений**

Уникальные геодинамические явления – медленные деформационные волны, с одной стороны ответственны за перераспределение механической энергии в земной коре, а с другой направление их движения является прогностическим признаком мест будущих сильных землетрясений. Пока открытым остается вопрос эволюции волн при прохождении через разломно-блоковую структуру земной коры. Этой проблеме посвящены работы В. Г. Быкова, С. А. Борнякова, Ю. О. Кузьмина, С. И. Шермана и др.

В 2010–2016 гг. в районе Новой Зеландии произошла беспрецедентная серия сильных землетрясений  $M > 6$  из 11 сейсмических событий, включая два сильнейших: Кайкоура ( $M7,8$ , 13 ноября 2016 г.) и Дарфилд ( $M7,1$ , 03 сентября 2010 г.). Землетрясение Кайкоура по магнитуде приближается к мега-землетрясениям по шкале Рихтера.

В этой связи в 2023 г. были выполнены исследования по выявлению особенностей деформирования земной коры по результатам ГНСС-наблюдений. Для этого района Новой Зеландии (рисунок 2.1а) была сформирована расчетная схема из 64 пунктов постоянно действующей ГНСС-сети Новой Зеландии (рисунок 2.1б). Временные ряды ежесуточных определений координат пунктов были получены из архива Геодезической лаборатории Невады. Начальная и конечная эпохи измерений равны 2008.01.01 и 2021.06.25 соответственно. Информация о сейсмической активности региона в интервале времени с 2008 по 2016 гг. получена из веб-ресурса *National Earthquake Information Center (NEIC)*.

Сильнейшие землетрясения за указанный интервал времени представлены в

таблице 2.1.

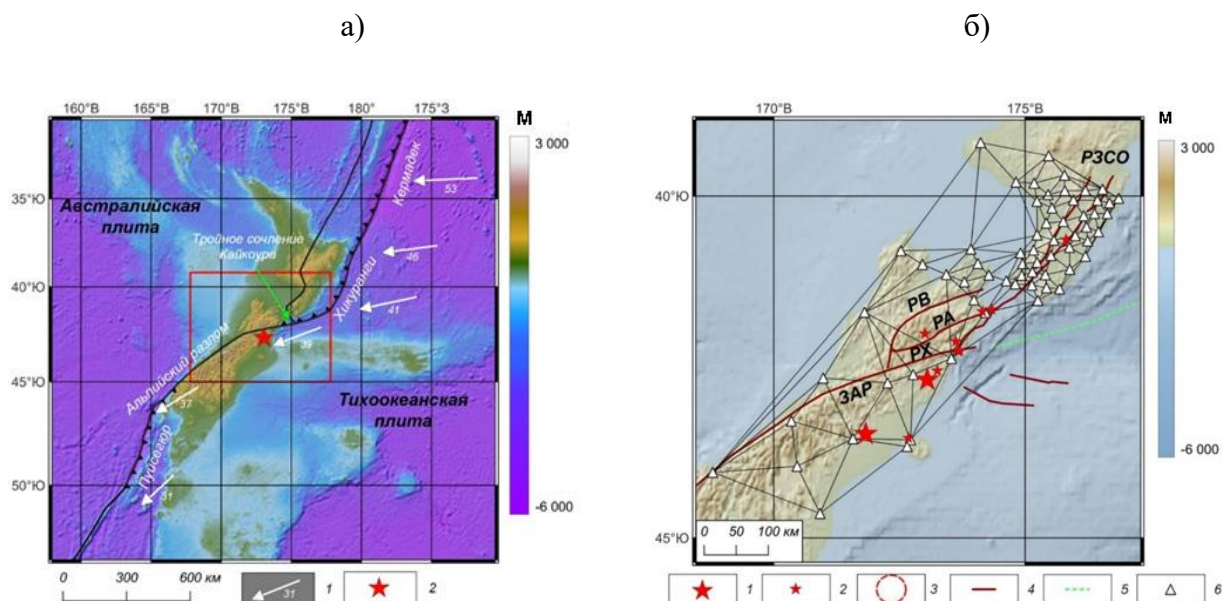

**Рисунок 2.1 - Тектонические условия (а) и расчетная GPS-сеть (б) в зоне тройного сочленения Кайкоура**

Таблица 2.1 – Сильнейшие землетрясения в районе за 2010–2016 гг.

Название землетрясения	Дата (год, мес., день)	Время (час, мин., сек.)	Географические координаты (°)		Глубина (км)	$M_w$
			Широта	Долгота		
Дарфилд	2010.09.03	16 35 47,770	-43,5220	171,8300	12	7,0
Кристчёрч	2011.02.21	23 51 42,350	-43,5830	172,6800	5,9	6,1
Седдон	2013.07.21	05 09 31,450	-41,7040	174,3370	17	6,5
Седдон	2013.08.16	02 31 05,750	-41,7340	174,1520	8,2	6,5
Екатахуна	2014.01.20	02 52 44,350	-40,6595	175,8144	28	6,1
-	2015.04.24	03 36 42,400	-42,0602	173,0066	48	6,1
Кайкоура	2016.11.13	11 02 56,340	-42,7373	173,0540	15,11	7,8
-"	2016.11.13	11 32 06,540	-42,3205	173,6694	10	6,5
-"	2016.11.13	11 52 45,010	-42,1762	173,6227	13,99	6,1
-"	2016.11.13	13 31 25,660	-42,3093	173,6961	2,09	6,2
-"	2016.11.14	00 34 22,610	-42,6058	173,2543	9	6,5

Вычислялись т. н. «внутренние» смещения земной поверхности. По отношению к начальной эпохе измерений  $i = 0$  как к разности координат  $n$  и  $e$  по каждой из горизонтальных осей вычислялись накопленные горизонтальные смещения  $U_n$  и  $U_e$

$$U_{n_i} = n_i - n_0, U_{e_i} = e_i - e_0, \quad (1)$$

где  $i$  – текущая эпоха измерений (порядковый номер суток от начала наблюдений). Внутренние смещения, накопленные от начальной эпохи, вычислялись по формуле



$$u_{nj} = U_{nj} - \bar{U}_n, u_{ej} = U_{ej} - \bar{U}_e, \quad (2)$$

где  $\bar{U}$  – средние значения смещений по осям прямоугольных координат на каждые сутки;  $j$  – порядковый номер пункта GPS-наблюдений.

По цифровым моделям затем создавались графические изображения, соответствующие каждому суткам. Видео-анимации размещены на информационном ресурсе Earth Science DataBase, Geophysical Center RAS <http://esdb.wdcb.ru/>.

На рисунке 2.2 показана эволюция деформации полного сдвига за 2008–2021 гг. Первый кадр (рисунок 2.2а) демонстрирует развитие аномальной зоны деформации примерно за 3 года с момента начала регистрации. Ее величина достигает  $2 \cdot 10^{-6}$ . Это на порядок превышает точность определения деформации  $10^{-7}$ . Через 3 месяца произошла серия умеренных и сильных афтершоков ( $M_w=5,9-6,2$ ) на продолжении активного разлома, вблизи которого произошло землетрясение Дарфилд  $M6,2$ .

В совокупности с землетрясением Дарфилд эта последовательность сейсмических событий именуется серией Кентербери (рисунок 2.2б). При этом примечательно, что аномалия деформации полного сдвига возросла до  $10^{-5}$ , что характерно для уровня косейсмических деформаций, и переместилась на север именно в область тройного сочленения Кайкоура, вблизи которого через 2,5–3 года происходят сильные землетрясения в проливе Кука и в районе озера Грессмер (рисунок 2.2г).

24.04.2015 г. в районе разлома Аватере происходит землетрясение с  $M6,1$ . Через полтора года 13–14.11.2016 г. в области деформаций полного сдвига порядка  $10^{-5}$  и более происходит сильнейшее землетрясение Кайкоура ( $M7,8$ ) и три сильных афтершока с  $M6,2-6,5$  (рисунок 2.2з). Два из них располагаются в области тройного сочленения Кайкоура у полуострова Кайкоура.

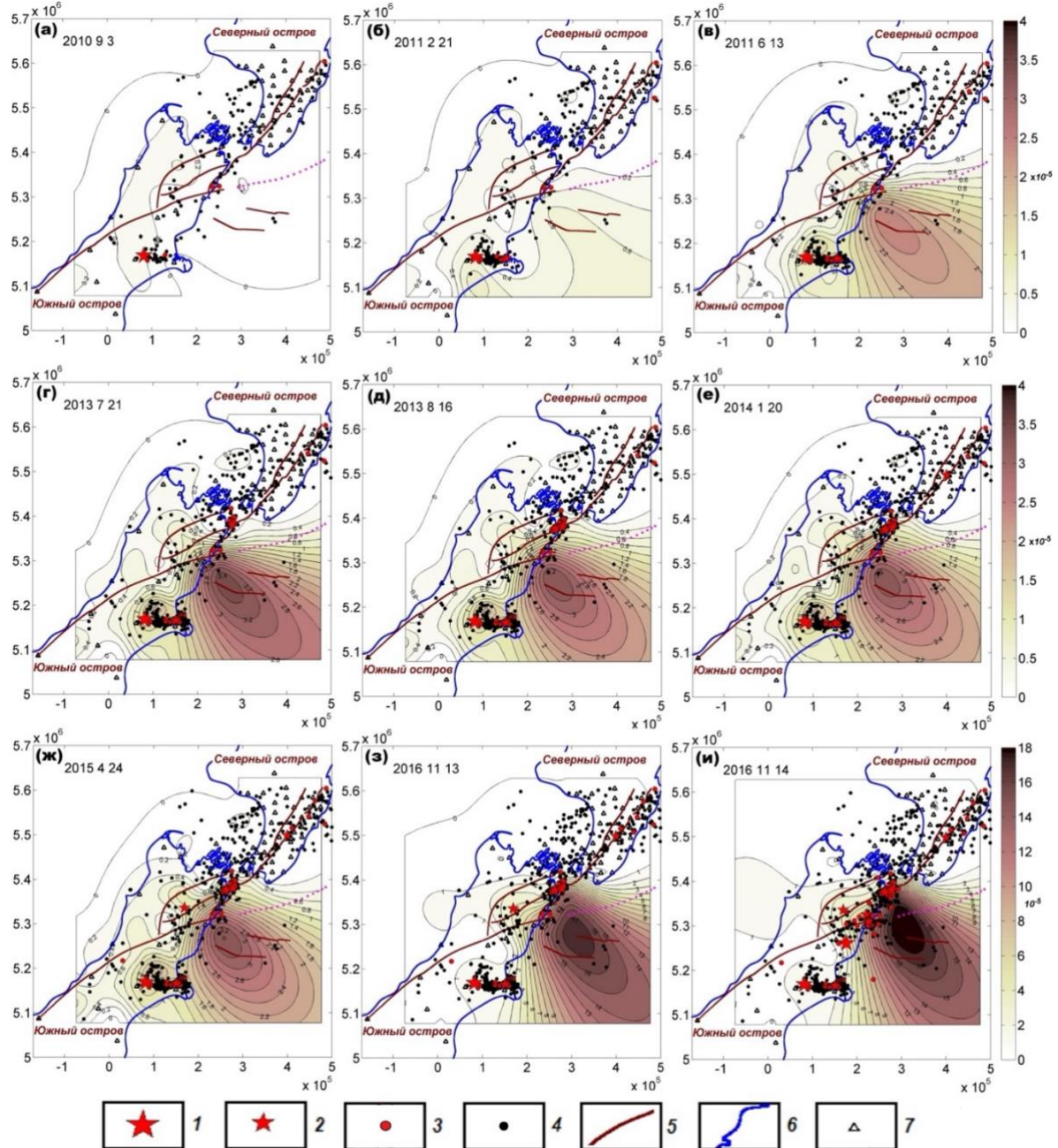
Приуроченность событий к территории недавно обнаруженного мантийного суперплюма и концентрация максимума сдвиговой косейсмической деформации именно в этом месте позволяют предполагать обусловленность сейсмического процесса неглубоким расположением вязкого мантийного слоя и его восходящего потока с радиальным центростремительным горизонтальным растеканием.

Сложное сочетание сильных землетрясений за короткий период и в ограниченной области обусловило интерес к анализу таких предвестников, как присутствие «дефицита внутренних смещений земной коры». Эта характеристика, отражающая пространственную динамику изменения абсолютных значений смещений ГНСС-пунктов в сейсмоопасных районах Земли, изучается в лаборатории геодинамики в последние годы.

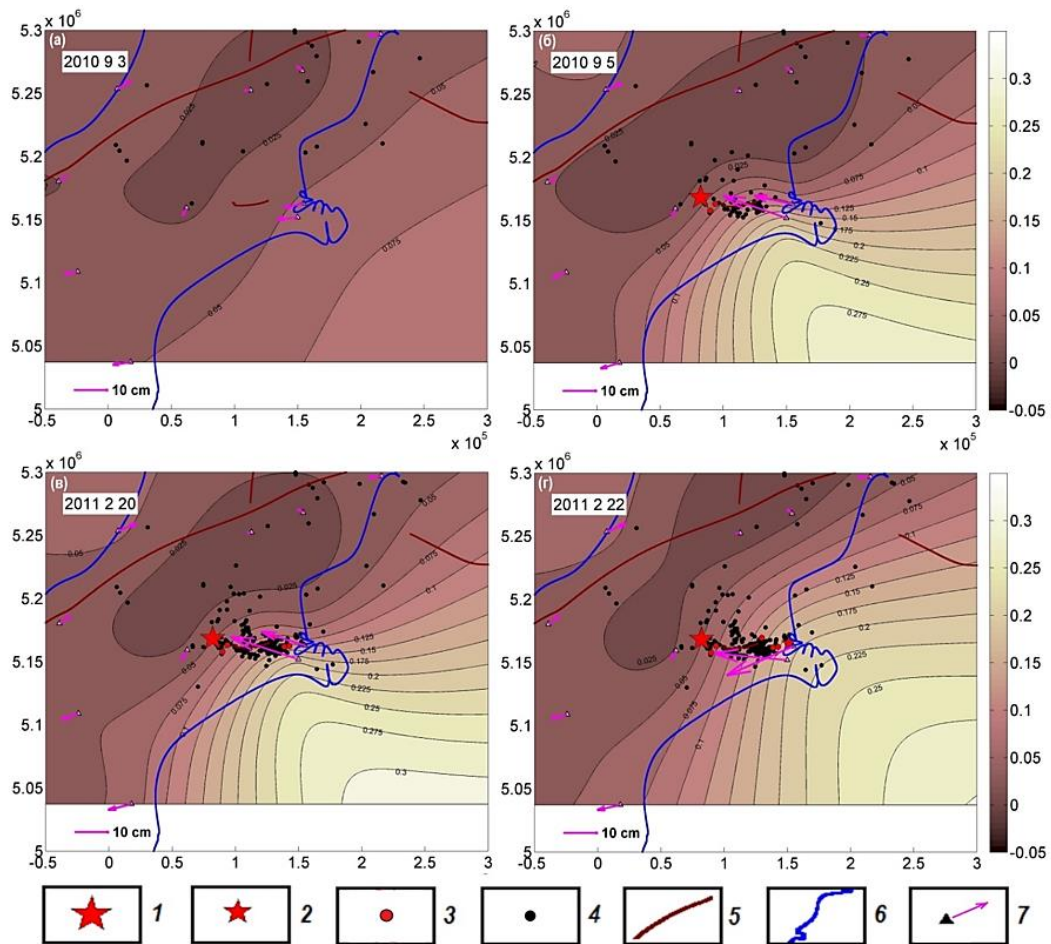
Накопление дефицита смещений перед серией сильных землетрясений Дарфилд и Крисчерч в декабре 2010 и в феврале – июне 2011 гг. (район Кентербери)



представлено на рисунке 2.3). В результате сильнейшего землетрясения максимальные косейсмические смещения произошли не в эпицентре события, а переместились на северо-восток на расстояние около сотни км в ослабленную зону, где до этого произошли сильные события в проливе Кука и возле озера Герсмер (рисунок 2.3г, большие фиолетовые стрелки).



**Рисунок 2.2 – Эволюция деформации полного сдвига в связи с ходом сейсмической активности в районе сильных землетрясений Новой Зеландии 2008–2021 гг. 1 – эпицентры землетрясений  $M > 7$ ; 2 – эпицентры землетрясений  $5,9 < M < 7$ ; 3 – эпицентры землетрясений  $6 > M > 4,9$ ; 4 –  $5 > M > 2,5$ ; 5 – линии разломных зон; 6 – береговая линия; 7 – пункты ГНСС**



**Рисунок 2.3 – Дефицит внутренних смещений в связи с землетрясениями в районе Кентерберри**

В области Кайкоура располагается центральная часть вершины гигантского суперплюма. Предполагается, что эта область подвержена центробежному растеканию подкоровых вязких масс от центра к периферии и опусканию центральной части за счет коллапса плюма. Это пробуждает определенный интерес к анализу вертикальных движений и деформации дилатации. Синоптическая анимация эволюции дилатации представлена на рисунке 2.4а. Показано изменение величин дилатации в связи с землетрясением Дарфилд, развивающееся на восток в область афтершоков. Видно, что область главных сейсмических событий и их афтершоков является областью сжатия.

Для выяснения механизма образования интенсивной деформации растяжения были исследованы накопленные горизонтальные и вертикальные смещения ГНСС-пунктов. Характер их изменений показаны на рисунке 2.4б. Значимое поднятие величиной до 5 см образовалось вслед за землетрясением Кристчёрч и совпадает с главной аномалией растяжения.



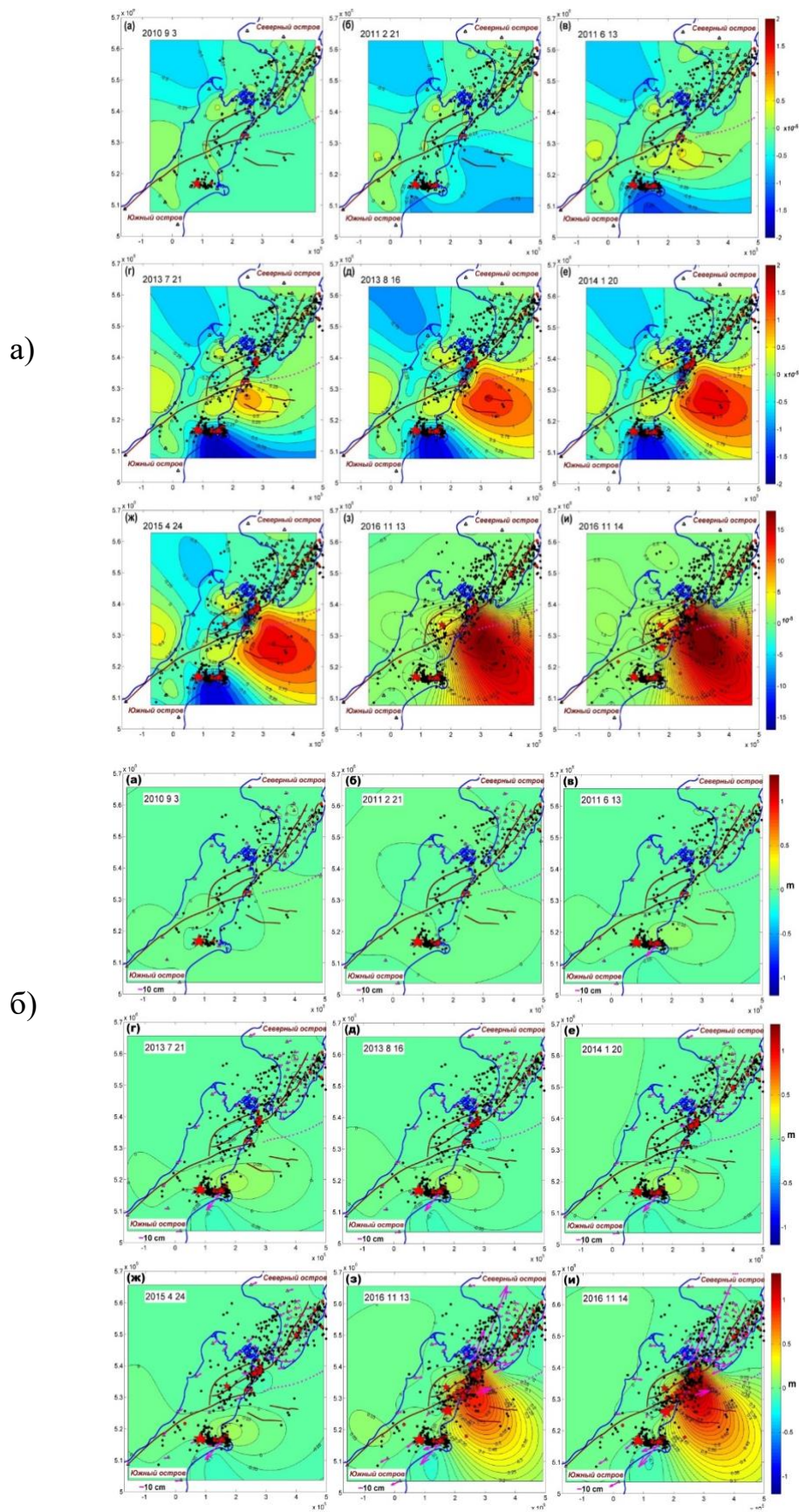
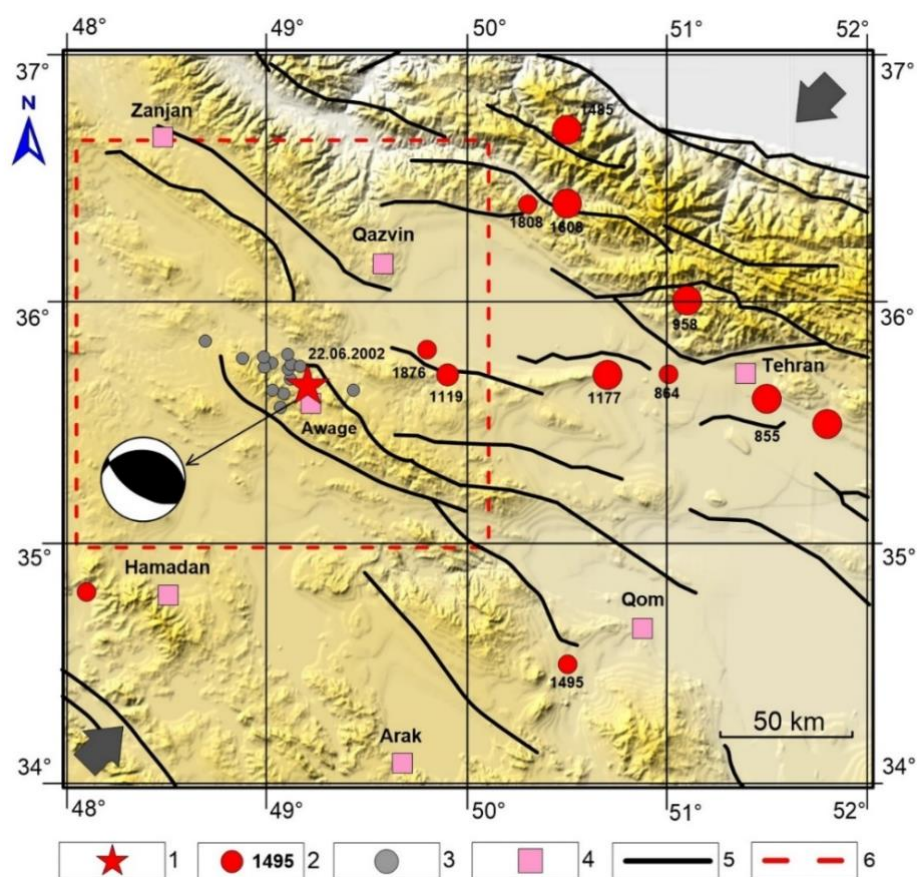


Рисунок 2.4 – Эволюция деформации дилатации (а) и горизонтальных и вертикальных движений (б) в связи в связи с землетрясениями в Новой Зеландии 2008–2021 гг.

## 2.2 Исследование сеймотектонических процессов для оценки степени опасности сильных коровых землетрясений

Последние исследования отечественных и зарубежных ученых показали необходимость моделей напряжённо-деформированного состояния (НДС) земной коры в прогнозе сейсмической опасности. Решение задачи прогноза положения очага сильных коровых землетрясений в сейсмоактивных зонах построено на гипотезе, что существует их взаимосвязь с распределением полей напряжений гетерогенной блочной среды и с разломной тектоникой.

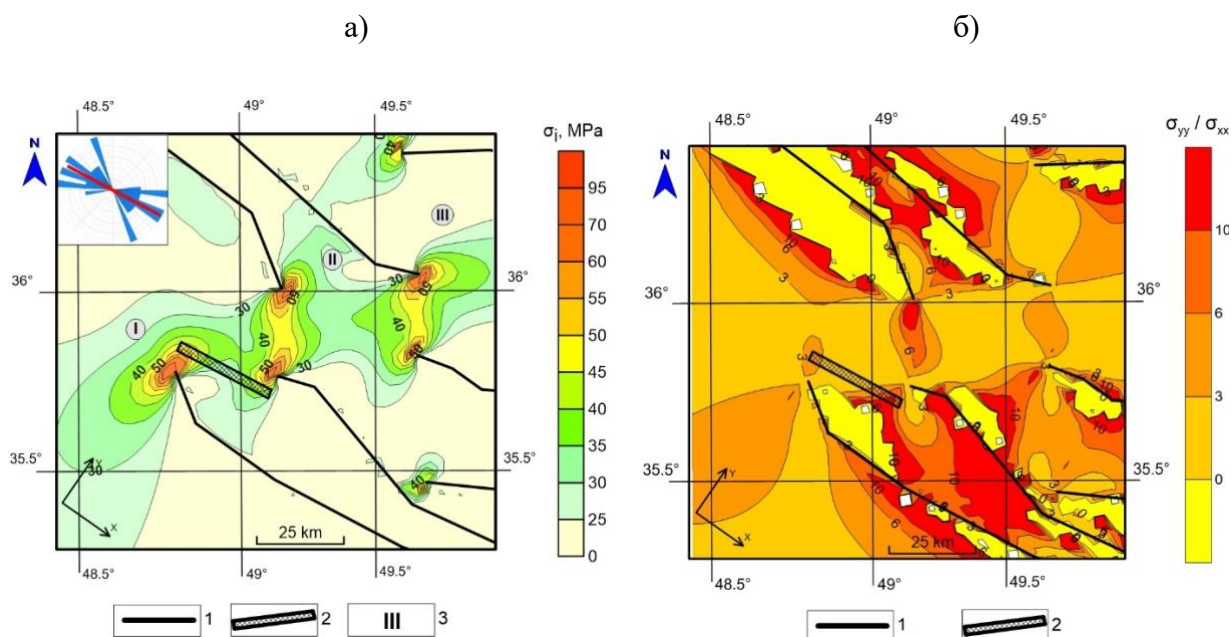
Методология моделирования НДС для районов эпицентральных зон неглубоких ( $H \sim 10\text{--}20$  км) коровых землетрясений с  $M > 6,0$  была разработана ранее. В 2023 г. эти исследования были продолжены. Ниже представлен ретроспективный прогноз местоположения и интенсивности корового землетрясения с  $M_w = 6,4$ , которое произошло на северо-западе Ирана между горными районами Альборз на севере и Загрос на юге (рисунок 2.5).



**Рисунок 2.5 – Структурно-тектоническая схема района. 1 – эпицентр землетрясения 22.06.2002  $M_{6,4}$ ; 2 – эпицентры сильных исторических землетрясений; 3 – эпицентры афтершоков 22.06.2002–07.11.2002  $M > 4,0$ ; 4 – крупные города Ирана; 5 – тектонические разломы; 6 – область моделирования**



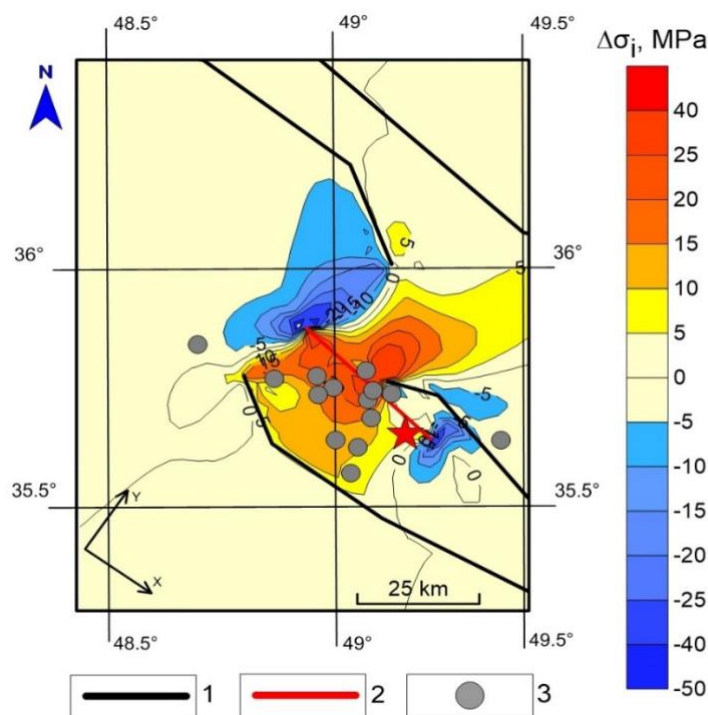
В итоге были получены карты распределения интенсивности напряжений  $\sigma_i$  и разности интенсивности напряжений  $\Delta\sigma_i$ , компонент тензора напряжений  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$ ,  $\tau_{xy}$  и отношения напряжений  $\sigma_{yy}/\sigma_{xx}$  в эпицентральной зоне площадью  $\sim 10^4$  км<sup>2</sup>. На рисунке 2.6а представлена карта интенсивности напряжений до землетрясения. В левом верхнем углу приведена роза-диаграмма доминирующего направления условно линейных участков тектонических разломов района, иллюстрирующая эту ситуацию. На рисунке 2.6б приведена карта отношения главных действующих напряжений  $\sigma_{yy}/\sigma_{xx}$ .



**Рисунок 2.6 – Карты  $\sigma_i$  и отношения  $\sigma_{yy}/\sigma_{xx}$  до землетрясения. 1 – тектонические разломы; 2 – область нового разрыва; 3 – зоны высокой интенсивности напряжений**

Аномальные значения  $\sigma_{yy}/\sigma_{xx} > 6$  пересекаются с зонами высокой интенсивности напряжений, где можно было бы ожидать возникновения разрывов и их распространение как в северном, так и в северо-западном направлениях. На рисунке 2.7 приведена карта сброшенной  $\sigma_i$  после образования разрыва, протяженность и ориентация которого принята при использовании сейсмологических данных. Сброс напряжений за счет образования разрыва приводит к интенсивному развитию последующего афтершокового процесса (желтая и красная зона, рисунок 2.7). Все сильные афтершоки локализованы в этой зоне за исключением двух, вызванных, вероятно, приростом напряжений в окончании сформировавшегося разрыва. При сопоставлении интенсивности напряжений эпицентральной зоны землетрясения до и после основного толчка можно видеть значимые изменения (более

5 МПа) в зоне с радиусом  $R \sim 30$  км от эпицентра землетрясения.



**Рисунок 2.7 – Карта разности интенсивности напряжений  $\Delta\sigma_i$  до и после землетрясения: 1 – тектонические разломы; 2 – предполагаемое положение образовавшегося разрыва по сейсмологическим данным; 3 – эпицентры афтершоков**

По итогам анализа карт можно утверждать следующее:

–новый разрыв при землетрясении стартует из пересечения области повышенных значений интенсивности напряжений  $\sigma_i$  и отношения главных напряжений  $\sigma_{yy}/\sigma_{xx}$ ;

–ориентация разрыва соответствует направлению большей оси розы диаграммы тектонических разломов исследуемого региона;

–наиболее вероятная длина разрыва определяется расстоянием между полученными в моделях аномальными зонами  $\sigma_i$  перед сейсмическим событием;

–следует ожидать, что длина разрыва и магнитуда землетрясения зависят от накопленной упругой энергии и ее возможной реализации в заданных структурно-тектонических условиях.

Идеализация геологической среды уменьшает уровень достоверности полученных данных. Вместе с тем полученные результаты представляются полезными как с позиции понимания развития сеймотектонического процесса, так и возможного прогноза места и энергии сильных коровых землетрясений.

### 2.3 Разработка структурно-тектонической модели участка «Енисейский» в приложении к задачам геомеханических исследований в ПИЛ Нижнеканского массива (Красноярский край)

Цель исследований заключалась в создании цифровой трёхмерной модели участка «Енисейский» (цифрового двойника), максимально приближенной к реальной горно-геологической обстановке. Модель впоследствии станет основой для проектирования натуральных геомеханических наблюдений в горных выработках ПИЛ.

В отчете за 2022 г. были приведены материалы, собранные для построения структурно-тектонической модели. В 2023 г. исследования были продолжены, на их основе была построена структурная модель участка «Енисейский», в 2024 г. планируется выполнение многовариантных расчетов напряженно-деформированного состояния пород и их геомеханическая интерпретация. На рисунке 2.8 показана схема построения геомеханической 3D-модели и место в ней блочной структурно-тектонической модели.

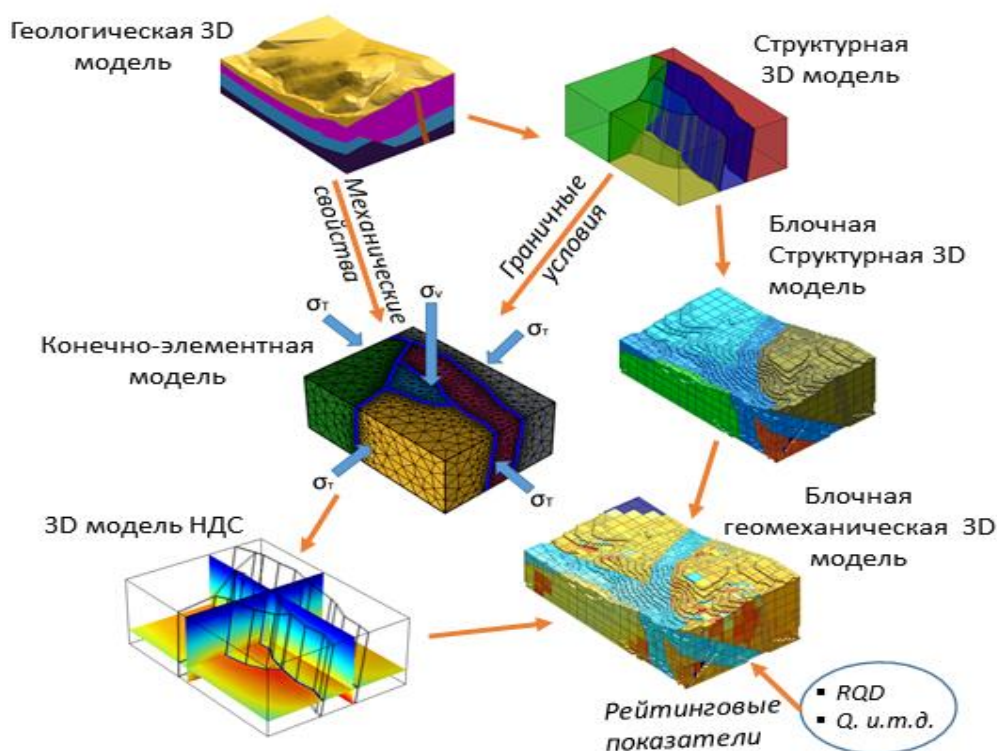


Рисунок 2.8 – Схема построения трехмерной геомеханической модели

В начале работ была разработана рейтинговая классификация качества пород массива для оценки его устойчивости. Модернизированный индекс качества массива  $Q_{HLW}^R$  определяется формулой:



$$Q_{HLW}^R = C_{chm}^R \times C_T^R \times Q' \times \frac{J_{w,HLW}^R}{SRF_{HLW}^R}, \quad (3)$$

где  $C_{chm}^R$  – индекс химического состава подземных вод;  $C_T^R$  – тепловой эффект;  $J_{w,HLW}^R$  – гидравлическая проводимость;  $SRF_{HLW}^R$  – индекс отношения прочности к напряжению.

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a}, \quad (4)$$

где  $RQD$  – индекс качества горных пород;  $J_n$  – показатель количества систем трещин;  $J_r$  – показатель шероховатости поверхностей стенок трещин;  $J_a$  – показатель выветрелости трещин.

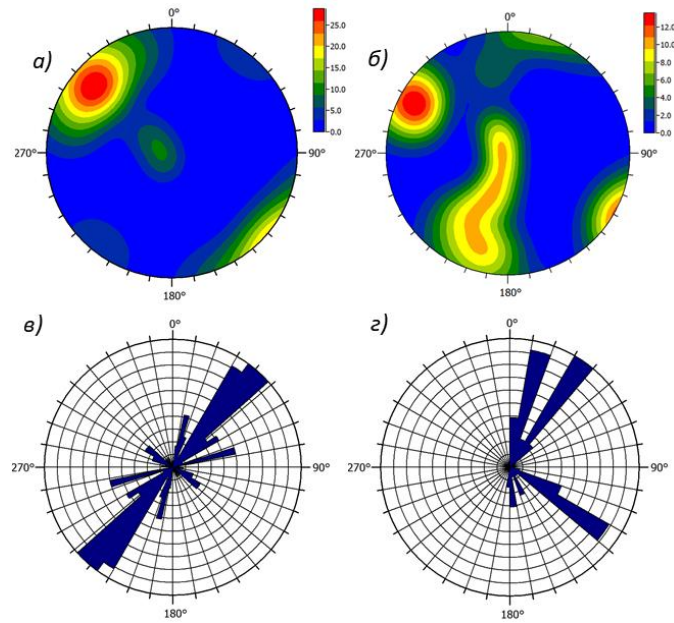
Согласно (3) определяется значение, которое соотносит исследуемый массив к определенному классу устойчивости (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Класс устойчивости массива горных пород согласно  $Q_{HLW}^R$

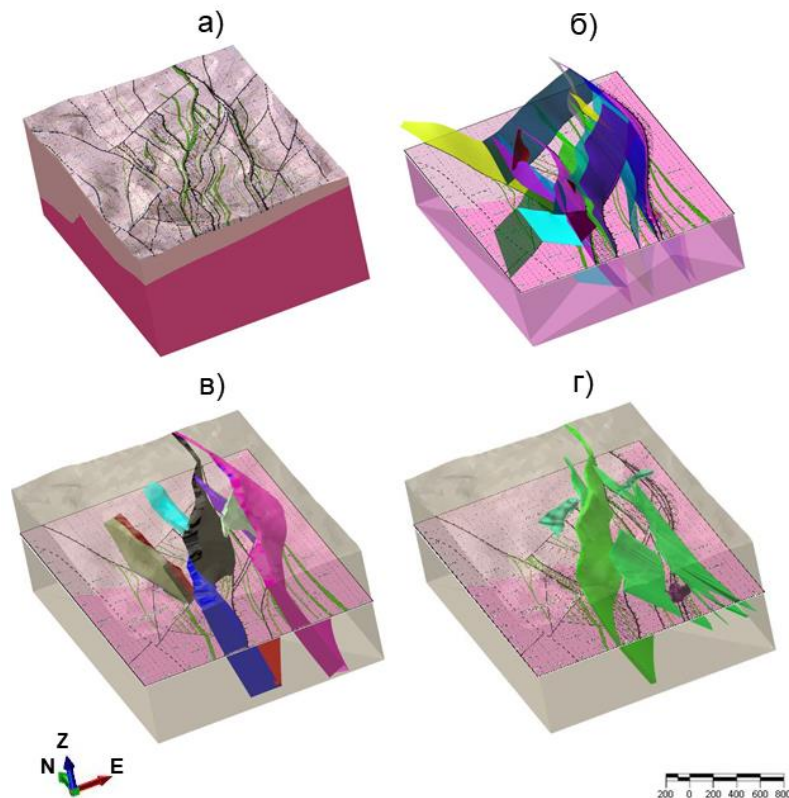
$Q_{HLW}^R$	Класс	Степень устойчивости	Комментарии
[40, 1000]	I	Высокая пригодность	Оцененный массив исследуемого участка очень подходит для строительства ПГЗРО.
[10, 40]	II	Умеренная пригодность	Оцененный массив исследуемого участка в основном подходит для строительства пункта глубинного захоронения РАО (ПГЗРО). Однако, для обеспечения долгосрочной стабильности и безопасности объекта, потребуются определенные инженерные меры
[0.0, 10]	III	Низкая пригодность	Оцененный массив исследуемого участка следует избегать при строительстве ПГЗРО.

Для оценки категорий устойчивости и нарушенности горных пород была выполнена документация скальных обнажений на земной поверхности (рисунок 2.9).

Литологическая модель включает в себя три основных слоя: четвертичных отложений и образования коры выветривания нерасчлененные (суглинки песчаные, глинисто-дресвяно-щебнистые отложения) мощностью 10–20 м, верхнюю толщу (плагиогнейсы, гнейсы биотитовые с прослоями кристаллических сланцев) и нижнюю толщу (гнейсы кордиерит-биотитовые с прослоями гнейсов биотитовых, гнейсов гранатосодержащих) (рисунок 2.10). Тектонические разрывы представленной модели подразделяются на главные и второстепенные нарушения.



**Рисунок 2.9 – Стереограммы трещиноватости пород в зоне динамического влияния Муратовского разлома (а) и в зоне динамического влияния Безымянного разлома (б), роза-диаграмма трещиноватости в зоне динамического влияния Муратовского разлома (в) и в зоне динамического влияния Безымянного разлома (з)**



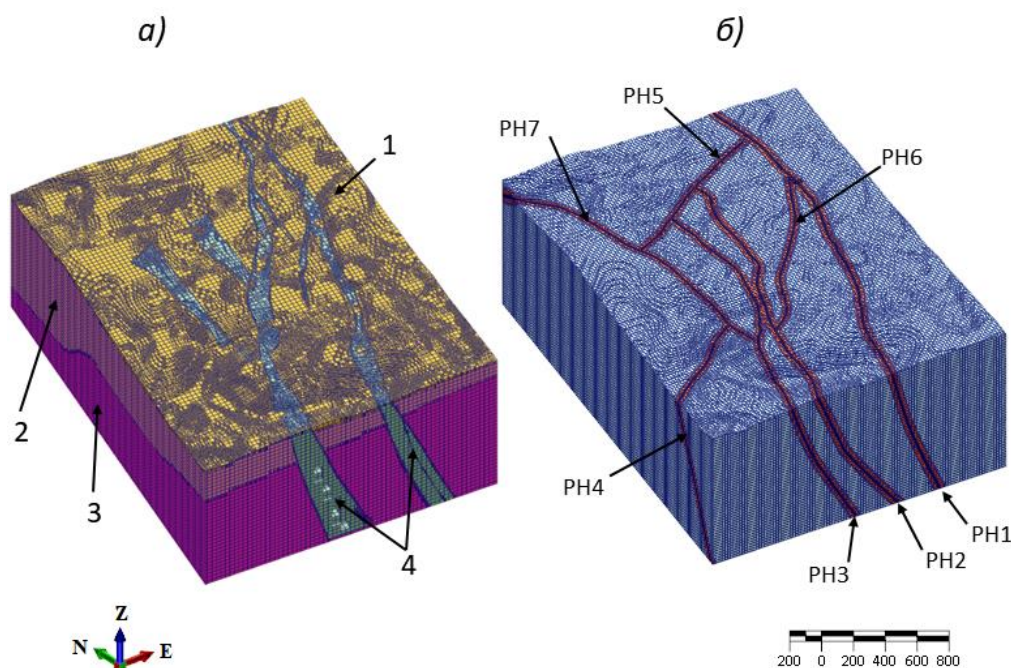
**Рисунок 2.10 – Трехмерное представление основных геологических структур объемной модели участка «Енисейский»: а – литологическая модель; б – модель разрывных нарушений; в – зоны дробления, повышенной трещиноватости и брекчирования; г – интрузивные и дайковые комплексы**





Блочная модель, составленная на основе каркасной модели (рисунок 2.11), представляет геологические структурные особенности в виде блоков с определенными физико-механическими свойствами. Она используется для более детального и точного описания геологической структуры и поведения горного массива.

В каркасной модели (рисунок 2.11) разрывные нарушения строились в виде поверхностей (дислокаций) с нулевой шириной, в силу недостатка информации о мощности разломов. Используя эмпирические зависимости, были определены размеры зон динамического влияния разрывных нарушений, и на основе этой информации была построена блочная модель.



**Рисунок 2.11 – Каркасная модель. а) – структурная блочная модель; б) – зоны динамического влияния главных разрывных нарушений. 1 – четвертичные отложения; 2 – верхняя толща; 3 – нижняя толща; 4 – зоны повышенной трещиноватости. PH1 – Верхнешумихинский разлом; PH-2 – Верхнемеркурьевский разлом; PH-3 – Меркурьевский разлом; PH-4 – Безымянный разлом; PH5 – Разлом №5; PH6 – Разлом 6; PH7 – Разлом №7**

Разработана трехмерная структурно-тектоническая модель участка «Енисейский», которая станет основой для построения геомеханической модели и будет использована при многовариантном моделировании напряженно-деформированного состояния массива в окрестностях выработок ПИЛ с целью оценки и прогноза длительной сохранности его изоляционных свойств и проектирования мест расположения камер и скважин для геомеханических экспериментов. Построение структурной модели участка «Енисейский» с зонами динамического влияния разрывных нарушений является первым шагом в более глубоком понимании поведения разломов и их влияния на стабильность и безопасность породных массивов. Появляется возможность для более достоверного прогнозирования развития негативных геомеханических процессов при строительстве ПГЗРО.

### 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: директор чл.-корр. РАН Соловьёв А. А.

#### 3.1 Изучение эффектов космической погоды по данным геомагнитного мониторинга

В верхней ионосфере обнаружен новый тип волновых возмущений на частотах 4–12 Гц с максимумом появления на широтах полярной шапки и каспа. Наиболее вероятным является магнитосферный источник в области полярного каспа/клефта и мантии (рис. 3.1). Предположительно, эти колебания связаны с ионно-циклотронными волнами, возбуждаемыми вдали от магнитосферного экватора. Наличие когерентных в ионосфере и на Земле колебаний магнитного поля подтверждает, что обнаруженные по спутниковым наблюдениям вариации магнитного поля на частотах выше номинального Pc1 диапазона являются волновым процессом. Пространственный масштаб колебаний в ионосфере составляет сотни километров, что подтверждается сравнением значений отношения амплитуд Земля/ионосфера, восстановленных из измерений и рассчитанных в модели прохождения альвеновского пучка конечного радиуса через ионосферу (рис. 3.2).

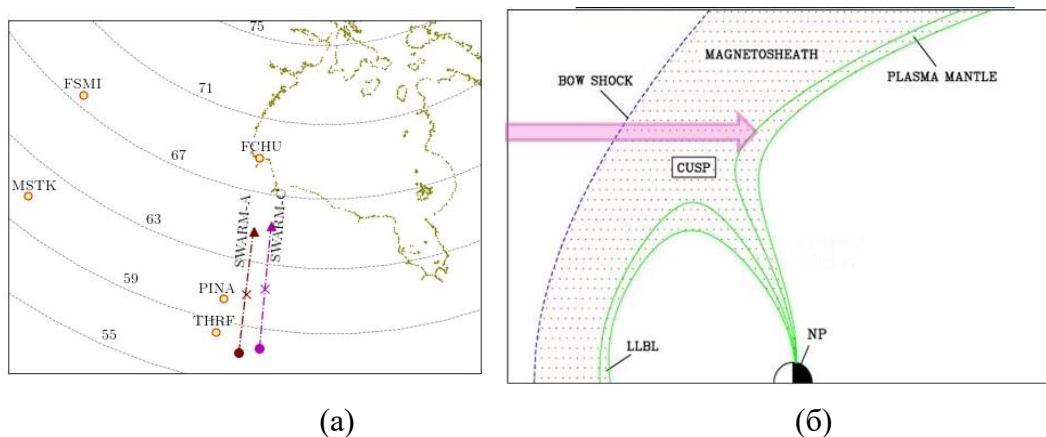
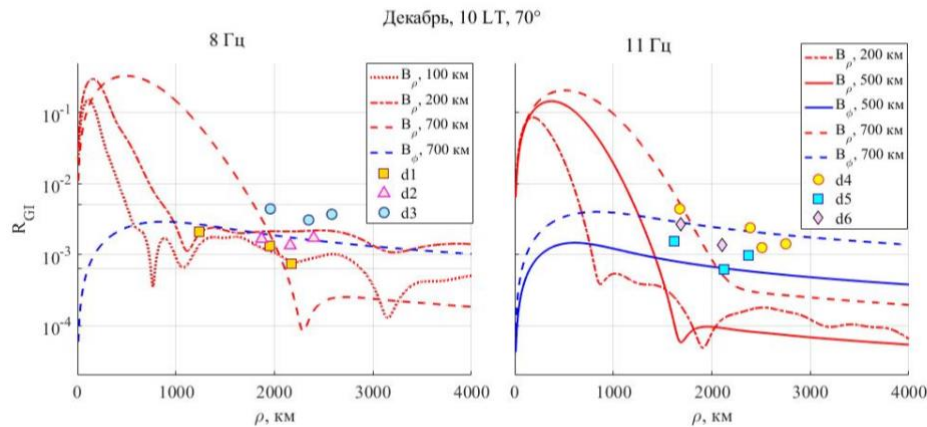


Рисунок 3.1 – Когерентные колебания в ионосфере и на Земле: Swarm A, C (50 Гц), CARISMA (100 Гц) (9–12/2006) (а); качественная иллюстрация возможного места генерации «высокочастотных Pc1» пульсаций (б)



**Рисунок 3.2 – Зависимость отношения амплитуды колебаний на земле к амплитуде в ионосфере от радиального расстояния: расчетные и определенные значения**

Волновой ультранизкочастотный (УНЧ) индекс характеризует амплитуду колебаний геомагнитного поля в полосе частот наиболее интенсивных пульсаций Pc5 (1,7–6 мГц). Анализ межполушарной асимметрии УНЧ-мощности важен как для оценки ошибки, возникающей при экстраполяции данных одного полушария, так и для решения физической проблемы о влиянии ионосферной проводимости на пульсации Pc5. С помощью данных магнитометров в магнитосопреженных точках Антарктиды и Гренландии (рис. 3.3) были рассчитаны значения мощности УНЧ-волн для двух полушарий и создана БД: [http://www.wdcb.ru/arctic\\_antarctic/antarctic\\_magn\\_8.ru.html](http://www.wdcb.ru/arctic_antarctic/antarctic_magn_8.ru.html). Их анализ показал близкие значения УНЧ-индекса в обоих полушариях (расхождение не более 10%), несмотря на значительную разницу в ионосферных проводимостях (более чем на порядок). БД охватывает период с 2002 г., а ее текущий объем превышает 300 Мб.

### 3.2 Геомагнитный эффект землетрясений Mw=7,5–7,8 в Турции 6 февраля 2023 г.

Исследовался отклик в вариациях геомагнитного поля, вызванный серией землетрясений с магнитудами Mw=7,5–7,8 в Турции 6 февраля 2023 г. В качестве исходных данных использованы высокоточные наблюдения геомагнитного поля с 1-секундным временным разрешением, зарегистрированные на магнитных обсерваториях РФ и ближнего зарубежья от умеренных до высоких широт (рис. 3.4). Были проанализированы морфология геомагнитного сигнала, его амплитудно-частотные характеристики, всплески скорости изменения и задержки в отклике



геомагнитного поля на землетрясения с магнитудой  $M_w \geq 7$  в зависимости от расстояния до очага. Несмотря на наблюдаемые 6 февраля 2023 г. горизонтальные смещения до 5 м в зоне восточно-анатолийского разлома, механический эффект от землетрясений в вариациях геомагнитного поля не выявлен. В течение 5–6 февраля 2023 г. наблюдался пониженный уровень геомагнитной активности. Это обстоятельство исключает ложную трактовку выделяемого сигнала как эффекта космической погоды вместо эффекта сейсмического события, а также позволяет более отчетливо выделить геомагнитный отклик на общем фоне.

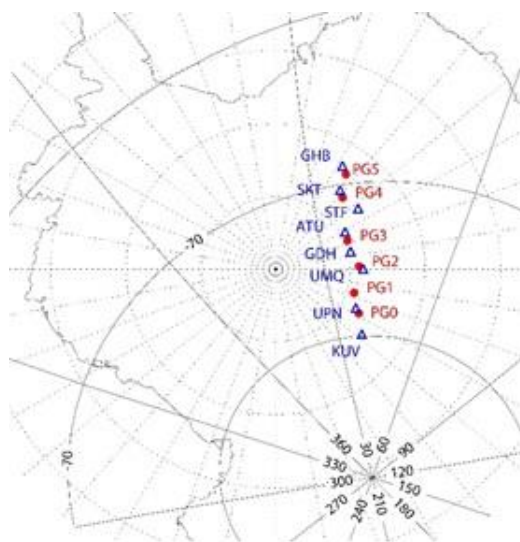


Рисунок 3.3 – Карта сопряженных магнитных станций в северном (синие) и южном (красные) полушариях вдоль магнитного меридиана  $40^\circ$  ( $LT=UT-2.3$ )

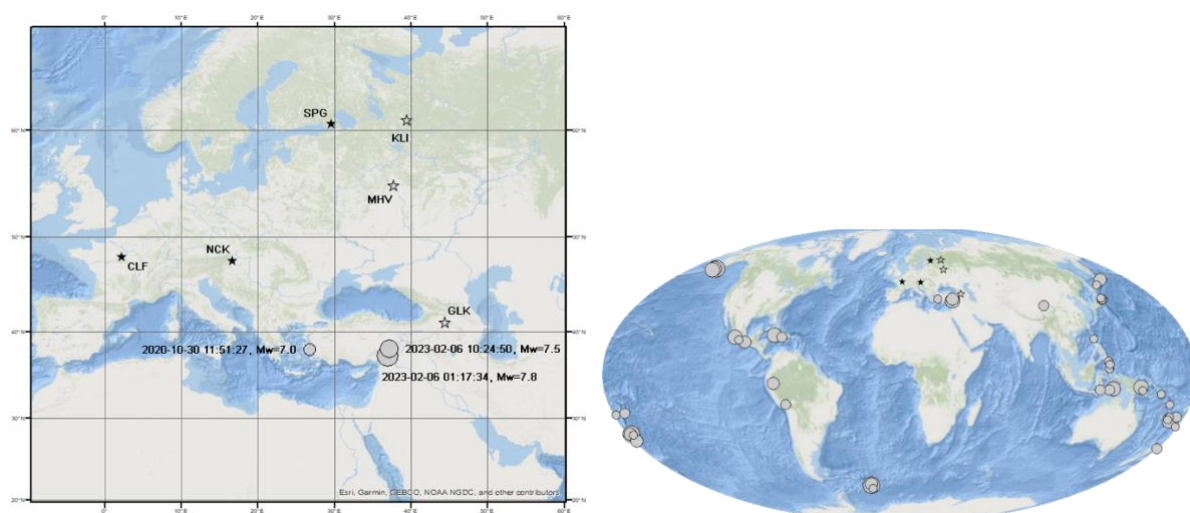
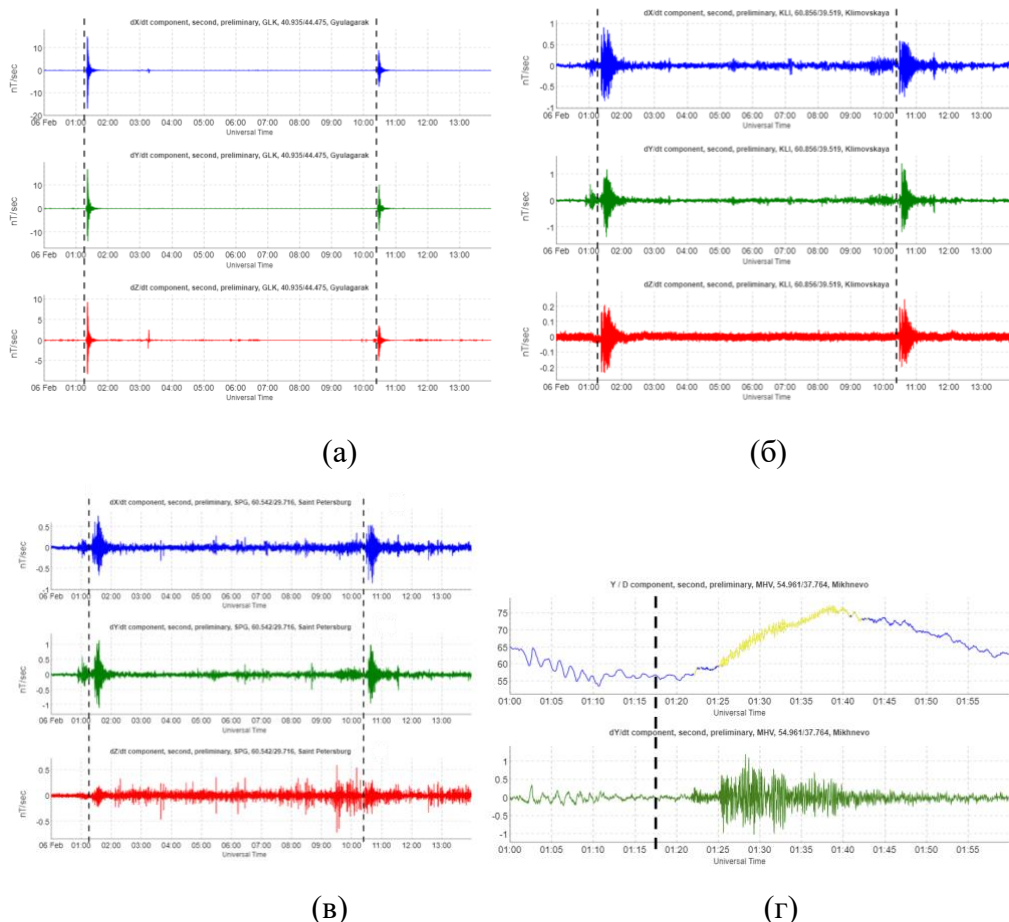


Рисунок 3.4 – Карта эпицентров землетрясений с магнитудой  $M_w \geq 7$  за период 2020-01-01–2023-03-20 по данным USGS (серые круги) и отобранные магнитные обсерватории, предоставляющие 1-секундные данные (черные звезды – обсерватории сети ИНТЕРМАГНЕТ, белые звезды – не входящие в ИНТЕРМАГНЕТ обсерватории)



Показано, что геомагнитный эффект наилучшим образом детектируется не в исходных вариациях, а в скорости изменения поля. В некоторых случаях величина амплитуды превышает 10 нТл/с (рис. 3.5). Такое значение является аномальным для любых широт и недостижимо во время сильных геомагнитных бурь. Таким образом, из всех природных процессов, возбуждающих быстрые изменения геомагнитного поля, самыми мощными являются сейсмические события на относительно небольшом расстоянии от пункта наблюдений. Задержка сигнала составляет от 221 до 592 с в зависимости от компоненты магнитного поля и расстояния до эпицентра, которое для выбранных обсерваторий лежит в диапазоне от 765 до 2650 км. Задержка в отклике геомагнитного поля на произошедшее землетрясение увеличивается с ростом расстояния до его эпицентра. С уменьшением расстояния до эпицентра увеличивается амплитуда сигнала, причём чем ближе обсерватория к эпицентру, тем сигнал более локализован во времени (см. рис. 3.5).



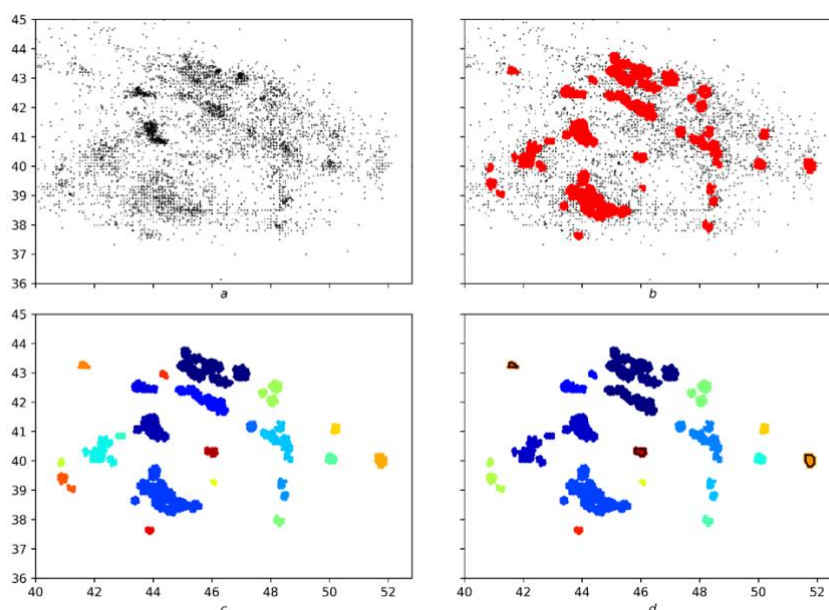
**Рисунок 3.5 – (а)-(в):  $dB/dt$  (нТл/с) по компонентам  $X$  (верхний график),  $Y$  (средний график) и  $Z$  (нижний график) за период 00:00–14:00 UT 6 февраля 2023 г. по данным обсерваторий GLK (а), KLI (б) и SPG (в), времена землетрясений с  $M_w=7,8$  и  $M_w=7,5$  помечены вертикальными пунктирными линиями. (г): вариации компоненты  $Y$  (нТл, верхний график) и  $dY/dt$  (нТл/с, нижний график) за период 01:00–02:00 UT 6 февраля 2023 г. по данным обсерватории MHV (на верхнем графике желтым цветом выделены сейсмогенные вариации,**

**распознанные АПК МАГНУС <http://geomag.gcras.ru>)**

Из всех остальных землетрясений, показанных на карте на рис. 3.4, геомагнитный эффект в данных рассматриваемых обсерваторий был зафиксирован только от землетрясения с магнитудой  $M_w=7,0$ , произошедшего 30 октября 2020 г. в Эгейском море на глубине около 20 км. По сравнению с другими землетрясениями его эпицентр находился достаточно близко к пунктам наблюдений. Вызванные им геомагнитные возмущения проявили себя только в данных обсерваторий GLK и MHV.

**3.3 Развитие дискретного математического анализа для решения задач геофизики**

Развитие дискретного математического анализа (ДМА) в предшествующие годы показало, что многие его методы имеют многомерные обобщения. Это обстоятельство очень важно, поскольку анализ физических полей с математической точки зрения во многом двумерен и трехмерен. В 2023 г. получила развитие DPS-кластеризация [Agayan *et al.*, 2020, 2021, 2022]. Предложена ее третья, высшая стадия, связанная с иерархической кластеризацией результатов предыдущих стадий DPS. Пример всех стадий DPS-кластеризации приведен на рис. 3.6. На рис. 3.6г каждая совокупность одноцветных пятен представляет собой коллективное, но фрагментарное проявление стоящей за ней единой аномальной сущности в исходном конечном метрическом пространстве (рис. 3.6а).



**Рисунок 3.6 – (а) – исходный массив  $X$ ; (b) – результат выполнения первой стадии алгоритма SDPS; (c) – результат выполнения второй стадии алгоритма SDPS – компоненты связности (однородные по цвету множества); (d) – результат**

### выполнения третьей стадии алгоритма SDPS – остовы и квазиостовы (однородные по цвету множества)

Двумерный рельеф вейвлет-преобразования  $W_x(t, a)$  характеризует свойства сигнала  $x$ , в частности, дает наглядное представление о динамике возникновения, эволюции и исчезновении короткоживущих аномалий исследуемого сигнала в разных масштабах. Формализация такого представления очень важна для понимания сигнала  $x$ : в качестве примера достаточно привести метод WTMM [Mallat, 2009], устанавливающий связь между вертикальными хребтами рельефа модуля  $|W_x(t, a)|$  и сингулярностями на сигнале  $x$ . Методы ДМА, в частности, морфологические меры, нечеткие нормирования, FDPS-кластеризация, позволяют найти в рельефах  $W_x(t, a)$  и  $|W_x(t, a)|$  интересные реперные фрагменты. Обратное вейвлет-преобразование транслирует их обратно в ряды от  $s$ , которые служат примерами нового типа линейных фильтраций  $x(s)$ . Фильтрация на временных рядах с помощью ортогонального кратко-разрешающего анализа (КРА) проиллюстрирована на рис. 3.7а. Новый вариант такой эволюции, основанный на нечетких сравнениях ДМА в спектре  $|W_x|$ , проиллюстрирован на рис. 3.7б. Здесь  $\alpha$  является номером уровня детальности.

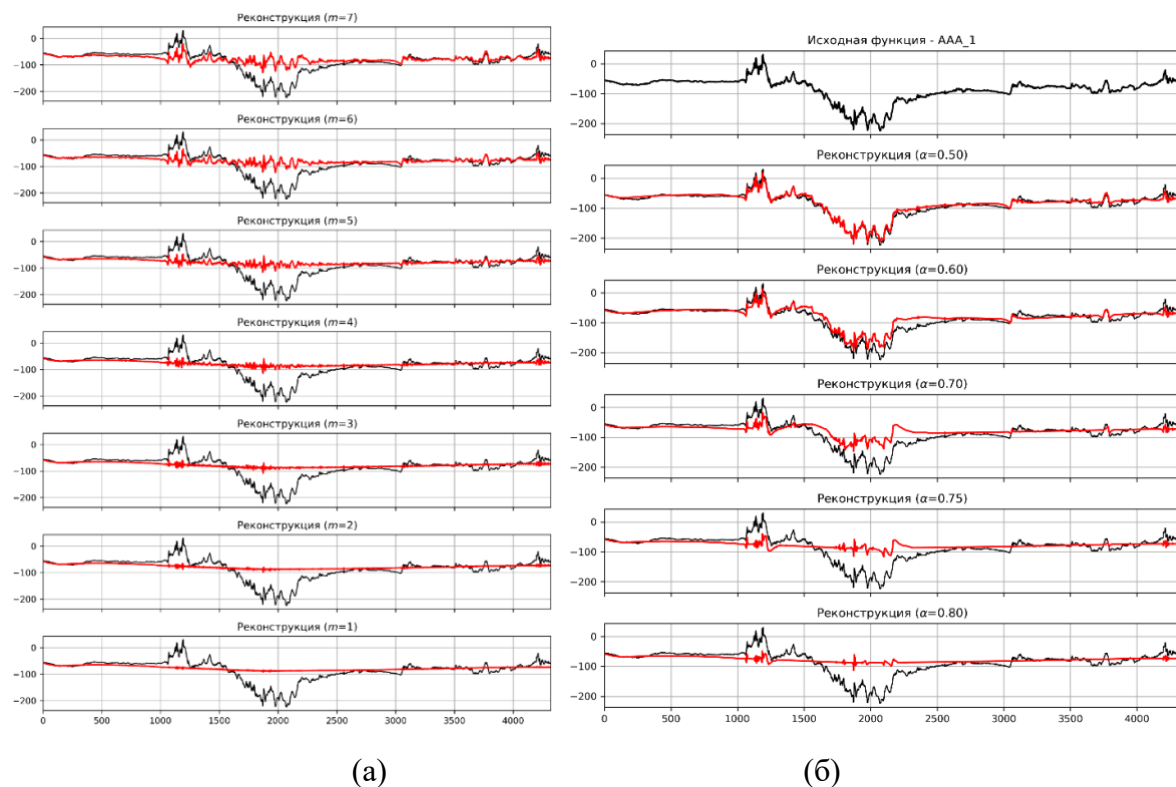


Рисунок 3.7 – КРА-реконструкция исходного временного ряда для разных уровней сингулярности сигнала  $t = 7, \dots, 1$  (а) и ДМА-реконструкция исходного

### временного ряда для разных значений $\alpha$ (б)

Сравнение показывает, что вариант  $\tilde{x}^\alpha$  более полно описывает сингулярности для  $x$ , чем  $\tilde{x}^\beta$ . Объяснение этому следующее: сингулярности на  $x$  проявляются на разных уровнях детализации  $\beta$ , поэтому меняя (уменьшая) их, мы автоматически искажаем сингулярность и делаем её изображение неполным. С другой стороны, сохранение уровней детальности ведёт к шуму (нечёткости) в изображении сингулярностей. В этой связи, вариант с нечетким сравнением лишён таких недостатков: он оставляет только сильные (большие по модулю) коэффициенты  $c^\beta$  на разных уровнях  $\beta$  и показывает сингулярности чётко и полно.

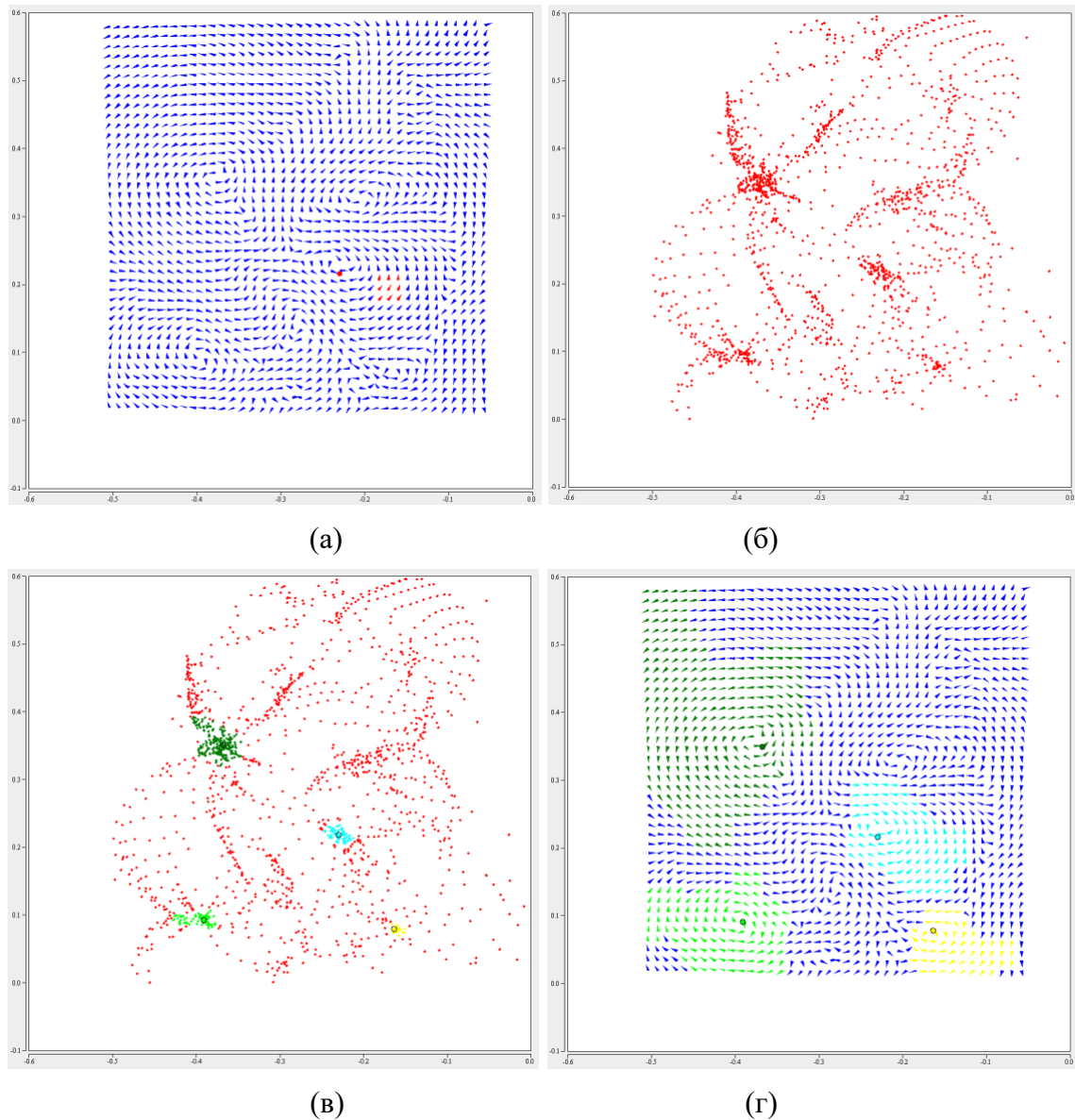
Для построения содержательной теории конечных векторных полей необходима их гладкость. Как и в одномерном случае, в ДМА она получается с помощью регрессионных производных (оператор  $R$ ). Если поле  $v$  считается достаточно гладким, то это означает, что его компоненты  $v_x$  и  $v_y$  достаточно слажены оператором  $R$ . При помощи ДМА-комплексирования выпрямлений свойств «гладкость» и «отклонение» предложено решение задачи Коши, которая заключается в нахождении решения  $\varphi$  с  $\varphi(t_0) = \pi_0$ .

Классический векторный анализ гладких полей есть соединение локального дифференциального начала в виде операций дивергенции и ротора с глобальным интегральным началом в виде теоремы Стокса. В настоящее время в дискретном случае для конечных векторных полей вариант первой локальной половины в виде регрессионной дивергенции и регрессионного ротора имеет место на базе полученных выше регрессионных частных производных, но вторая интегральная половина находится в стадии изучения. С другой стороны, методы ДМА позволяют построить другой вариант векторного анализа дискретных полей, на иных принципах. Дивергенция и ротор в нем будут иметь локально инверсный характер, а роль глобального интегрального начала будет играть кластеризация инверсий.

Общий подход к дискретному векторному анализу (ДВА) поля  $W$ , заданного на сетке  $\Pi$ , состоит из двух этапов. На локальном этапе для палетки с заданным узлом сетки в ее центре строим ротор и дивергенцию. Меняя узлы на сетке, получаем в общем случае нерегулярные массивы точек на плоскости. Глобальный этап состоит в ДМА-кластеризации этих массивов с целью нахождения в них областей, играющих роль нечетких центров вихрей и дивергенции для поля  $W$  в глобальном масштабе.



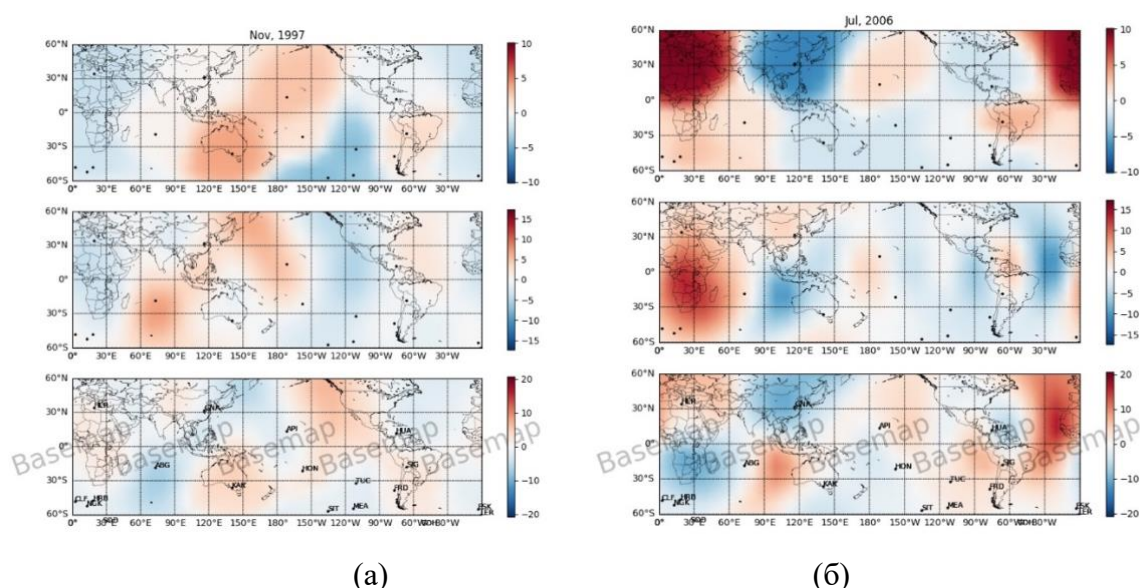
Примеры построения ротора для заданного векторного поля проиллюстрированы на рис. 3.8.



**Рисунок 3.8 – Исходное векторное поле и ротор для красной палетки 3×3 (а), роторы для всех палеток (б), DPS-кластеризация для выделения центров (в), вихри, соответствующие центрам кластеров (г)**

При помощи регрессионных производных и касательных на базе ДМА был построен алгоритм пространственно-временной интерполяции временных рядов, заданных в некоторых точках на сфере. Этот подход использовался для изучения векового ускорения магнитного поля Земли за 1932–2013 гг. В результате работы [Soloviev et al., 2017] мы имеем на каждой рассматриваемой обсерватории  $s$  сети ИНТЕРМАГНЕТ  $S$  (<https://intermagnet.org>) временной ряд  $y_s(t)$ , его первую  $y'_s(t)$  и вторую  $y''_s(t)$  производные. Требуется вычислить  $y''_s(t)$  (вековое ускорение) в произвольной точке  $s$  на поверхности Земли. Рассмотрим пример анализа данных 19

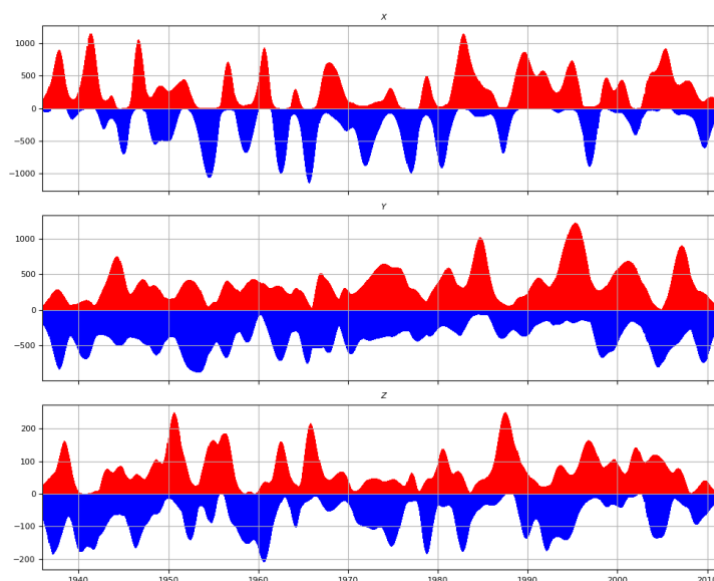
магнитных обсерваторий, для которых доступны непрерывные среднечасовые наблюдения геомагнитного поля за период 1932–2013 гг. на сайте Мирового центра данных по геомагнетизму в г. Эдинбурге (<http://www.wdc.bgs.ac.uk/data.html>). В соответствии с [Soloviev *et al.*, 2017] на каждой из обсерваторий были построены вторые производные по трем направлениям, а затем произведена пространственно-временная интерполяция на сетку по широте от  $-60^\circ$  до  $60^\circ$  и по долготе от  $-180^\circ$  до  $180^\circ$  с шагом  $10^\circ$  за указанный период наблюдений. На рис. 3.9 приведены примеры интерполяции второй производной на выбранной сетке на ноябрь 1997 г. и июль 2006 г.



**Рисунок 3.9 – Интерполяция векового ускорения геомагнитного поля на равномерной сетке на ноябрь 1997 г. (а) и июль 2006 г. (б): верхний рисунок – компонента X, средний – Y, нижний – Z. Точками обозначены обсерватории, поставляющие исходные данные**

Для каждого месяца за период 1932–2013 гг. мы получили распределение значений второй производной на заданной сетке. Для продолжения исследования эволюции, периодичности и мощности всплесков векового ускорения геомагнитного поля в планетарном масштабе мы посчитали интегральные суммы положительных и отрицательных значений. На рис. 3.10 построены гистограммы изменения этих сумм во времени для трех компонент магнитного поля. Качественный анализ полученных графиков впервые свидетельствует о трехлетнем квазипериодическом характере чередования полярности всплесков векового ускорения на столь длительном временном интервале (80 лет). Данный результат хорошо согласуется с [Chulliat *et al.*,

2015; Soloviev et al., 2017; , Lesur et al., 2022] и вносит весомый вклад в понимание волновых процессов в жидком ядре.

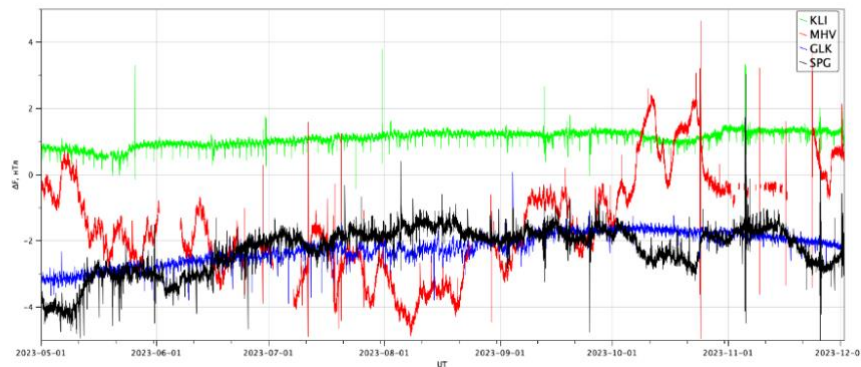


**Рисунок 3.10 – Оценка мощности всплесков векового ускорения геомагнитного поля в виде помесечных интегральных сумм положительных (красный) и отрицательных (синий) значений на сетке за 1932–2013 гг. На верхнем графике гистограмма интегральных сумм для компоненты  $X$ , на среднем – для  $Y$ , на нижнем – для  $Z$  (нТл/год<sup>2</sup>)**

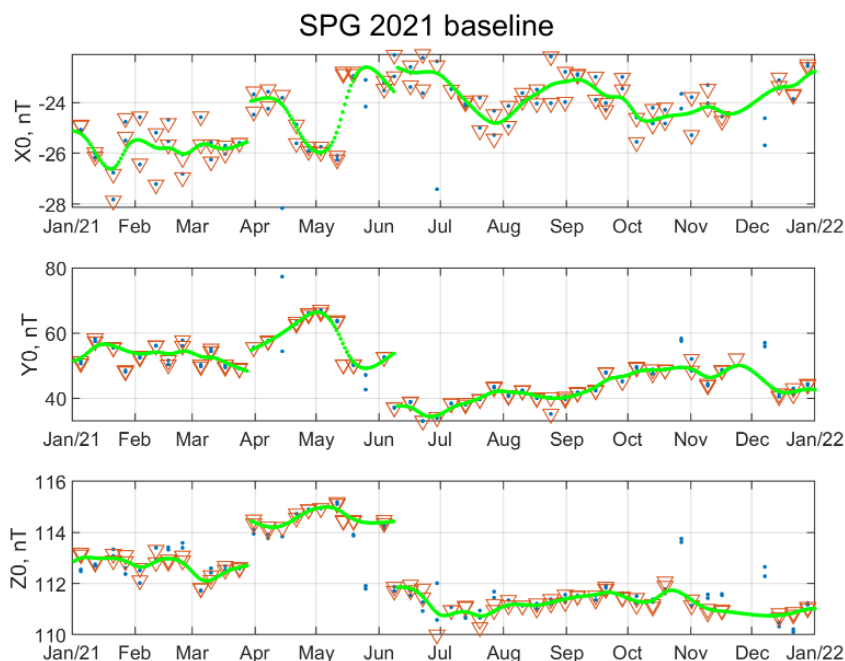
### 3.4 Развитие функционала АПК МАГНУС

В рамках развития аппаратно-программного комплекса (АПК) МАГНУС (Мониторинг и Анализ Геомагнитных аНомалий в Унифицированной Среде) был создан и апробирован на обсерваторских данных метод коррекции нелинейных температурных дрейфов в данных векторных вариометров. По стандартам ИНТЕРМАГНЕТ значения калибровочной кривой  $\delta F$  должны лежать в диапазоне от  $-0,5$  до  $0,5$  нТл в периоды пониженной геомагнитной активности. На рис. 3.11 показаны графики  $\delta F$  до коррекции по базисным значениям компонент для обсерваторий под научно-методическим руководством ГЦ РАН. Разработанный метод, который позволяет в полуавтоматическом режиме учитывать температурные дрейфы при коррекции вариационных данных магнитометра, на регулярной основе внедрен в процедуру ежемесячной подготовки квазиокончательных данных обсерватории «Санкт-Петербург» (SPG) в соответствии со стандартами ИНТЕРМАГНЕТ.

Предлагаемый подход основан на принципе минимального вмешательства в исходные данные. Так, коррекция с поправкой на температурные дрейфы затронула менее 25% вариационных данных за 2021 г., что повлекло пересчет лишь 10 наблюдаемых базисных значений из 47. На рис. 3.12 представлен сравнительный график исходных базисных значений, показанных синими точками, и откорректированных созданным алгоритмом (красные треугольники). Изолированные точки исходных базисных являются выбросами, связанными с ошибками измерений или приборными эффектами. Откорректированные таким образом данные обсерваторий «Санкт-Петербург» и «Климовская» были использованы в работе [Соловьёв и др., 2022] для оперативного обнаружения геомагнитного джерка, что свидетельствует об эффективности предложенного метода и высокой достоверности получаемых данных.



**Рисунок 3.11 – Графики  $\delta F$  до коррекции по базисным значениям обсерваторий SPG, KLI, GLK, MHV**



**Рисунок 3.12 – Базисные значения до (синие точки) и после (красные треугольники) температурной коррекции, а также интерполированные посуточные значения базисной линии (зеленые точки) для компонент  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , зарегистрированных на обсерватории SPG в 2021 г.**

Для обеспечения оперативной передачи данных с действующих и проектируемых геомагнитных обсерваторий был создан сервис передачи и обработки данных в реальном времени. Основным компонентом является программно-аппаратный комплекс мониторинга и отправки данных, который устанавливается на обсерватории. Информация о состоянии измерительных приборов и оперативности передачи данных собирается этим комплексом по локальной сети обсерватории и передается в АПК МАГНУС (рис. 3.13).





(а)

Обсерватория	Устройство	Время поступления данных	Время записи данных на устройстве	Имя файла	Md5-сумма файла	Частота обновления данных в минуту	Размер файла
IRT	POS1	2023-06-29 09:00:00 UTC	2023-06-29 09:00:00 UTC	//pos/2023.pmb	6d798cd7347a6cdf7568bd87ca4d984b	1	424520
IRT	POS4	2023-06-29 09:00:00 UTC	2023-06-29 09:00:00 UTC	//pos4/irt2023.pmb	2f9af387f68c41be4cb9732dbac0db89	1	2295430
IRT	kvarc	2023-06-29 09:05:00 UTC	2023-06-29 09:05:00 UTC	//kvarc/20230629000000.txt	a398cf9bbbcade8874778c4c59a46603	60	4489472
IRT	lemi018	2023-06-29 09:05:00 UTC	2023-06-29 09:05:00 UTC	//lemi/LEMI-018_#021_20230629_000000.txt	1e0ee82adeb6d7e31f4c5d8de97a3ddf	60	1930226

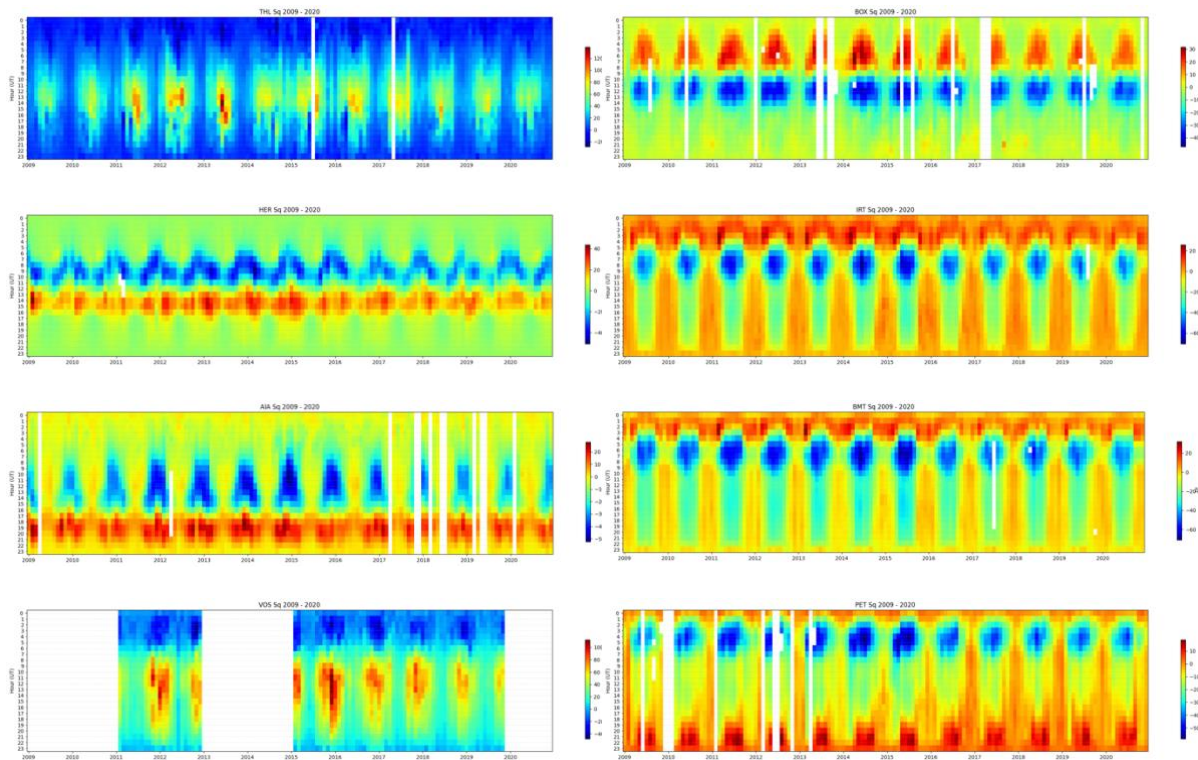
(б)

**Рисунок 3.13 – Развёртывание программно-аппаратного комплекса мониторинга и отправки данных на обсерватории «Иркутск» (IRT) (а), отображение информации о состоянии приборов в реальном времени (б)**

Поступающие в систему оперативные данные геомагнитных наблюдений проходят все необходимые этапы обработки сырых данных, включая выделение и удаление техногенных выбросов и скачков, температурную коррекцию, процедуру дополнения базисными значениями компонент геомагнитного поля. Обработанные данные с минутной и секундной частотами дискретизации становятся доступны для использования в прикладных задачах с задержкой не более 10 минут. Безопасный сервис доступа к обработанным и сырым данным позволяет получать оперативные, ретроспективные данные, а также значения индексов и мер геомагнитной активности, рассчитанные алгоритмами АПК МАГНУС.

Усовершенствован расчет меры аномальности за счет выбора наиболее подходящих для выполнения вычислений размеров окон, а также проведена апробация новой системы оповещения о геомагнитных бурях путем ретроспективного сопоставления ее срабатываний с известными бурями в прошлом. Впервые был

сформирован массив среднемесячных и сезонных значений спокойного хода Sq за весь период 24-го солнечного цикла (2009–2020 гг.) по данным обсерваторий из различных широтных поясов (рис. 3.14). Данные загружены в АПК МАГНУС и доступны для изучения эволюции морфологии эквивалентной токовой системы Sq освещенной ионосферы.



**Рисунок 3.14 – Ежемесячные изменения Sq-вариации на протяжении полного солнечного цикла. Левый ряд, сверху вниз: THL, HER, AIA, VOS; правый ряд: VOX, IRT, BMT, PET**

По состоянию на 1 декабря 2023 г. общий объем геомагнитных данных, поступивших в ЦКП «Аналитический центр геомагнитных данных» ГЦ РАН, составил 7,659 ТБ.



### Список использованных источников

- А. А. Соловьёв, Д. В. Кудин, Р. В. Сидоров, А. Л. Котиков. Детектирование геомагнитного джерка 2020 г. по оперативным данным магнитных обсерваторий «Санкт-Петербург» и «Климовская» // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022. Т. 507. № 1. С. 85–90. DOI 10.31857/S2686739722601375
- S. M. Agayan, V. N. Tatarinov, A. D. Gvishiani, Sh. R. Bogoutdinov, and I. O. Belov. FDPS algorithm in stability assessment of the earth's crust structural tectonic blocks. Russian Journal of Earth Sciences, 20(6):1–14, 2020.
- S. Agayan, Sh. Bogoutdinov, D. Kamaev, V. Kaftan, M. Osipov, V. Tatarinov. Theoretical framework for determination of linear structures in multidimensional geodynamic data arrays. Applied Sciences, 11(24):11606, 2021.
- S. M. Agayan, Sh. R. Bogoutdinov, B. A. Dzeboev, B. V. Dzeranov, D. A. Kamaev, M. O. Osipov. DPS clustering: New results. Applied Sciences, 12(18):9335, 2022.
- Chulliat, A., Alken, P., Maus, S. (2015). Fast equatorial waves propagating at the top of the Earth's core. Geophys. Res. Lett. 42, 3321–3329. <http://dx.doi.org/10.1002/2015GL064067>
- Lesur V., Gillet N., Hammer M. D., et al. (2022). Rapid variations of Earth's core magnetic field. Surv Geophys. 43. P. 41–69. <https://doi.org/10.1007/s10712-021-09662-4>
- Mallat S. A Wavelet Tour of Signal Processing. Elsevier, 2009.
- A. Soloviev, A. Chulliat, Sh. Bogoutdinov. Detection of secular acceleration pulses from magnetic observatory data. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 270:128–142, 2017.



## 4 Структурирование, визуализация, анализ и распространение геофизических данных

Шифр темы: FMWG-2022-0007

Регистрационный №: 122080300191-3

Руководитель: зам. директора по науке, зав. лаб., г.н.с., д.ф.-м.н. Б. А. Дзебоев

### 4.1 Накопление и организация хранения данных в Мировых центрах данных. Расширение центрального репозитория «Базы данных по наукам о Земле»

В 2023 г. работа в Мировых центрах данных (МЦД) по солнечно-земной физике (СЗФ) и физике твердой Земли (ФТЗ) проводилась по направлениям: сбор новых данных, ретроспективное пополнение фондов путем перевода исторических данных в электронный вид, формирование новых баз данных и публикация в сети Интернет наборов и баз данных, обеспечивающая возможность свободного обращения (бесплатно и многократно) к ним для использования в научных, образовательных и других некоммерческих целях. 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 раздел сайта «**Геомагнитные вариации**» [http://www.wdcb.ru/stp/geomag/geomagnetic\\_variations.ru.html](http://www.wdcb.ru/stp/geomag/geomagnetic_variations.ru.html) дополнен массивами среднечасовых и минутных значений элементов геомагнитного поля данными обсерваторий «Красная Пахра» за 2022 г., «Магадан» за 2012 г., «Аргентинские острова» за 2021 г. и «Паратунка» за 2007–2009 гг. Опубликованы значения геомагнитного  $K$ -индекса за 2022–2023 гг. семи обсерваторий и за предшествующие периоды (1966–1972, 1982) – двенадцати обсерваторий. Исторические данные переведены в электронную форму и представлены на сайте в двух форматах PDF и TXT. Продлены ряды всех геомагнитных индексов на основе данных Международной службы геомагнитных индексов (International Service of Geomagnetic Indices – ISGI). Опубликованы в свободном доступе цифровые изображения магнитограмм четырех обсерваторий (табл. 4.1).

В разделе «**Ионосферные явления**» после проверки опубликованы на сайте данные станции «Москва» за 2023 г., содержащие значения 18-ти ионосферных параметров [http://www.wdcb.ru/stp/ionosphere/ionospheric\\_phenomena.ru.html](http://www.wdcb.ru/stp/ionosphere/ionospheric_phenomena.ru.html). В свободном доступе находятся ионосферные данные станции «Москва» за период с 2007 по 2023 гг.



В разделе «Солнечная активность и межпланетная среда» [http://www.wdcb.ru/stp/solar/solar\\_activity.html](http://www.wdcb.ru/stp/solar/solar_activity.html) опубликован «Каталог солнечных вспышечных событий, зарегистрированных в линии Н $\alpha$ » в двух частях за периоды 1972–2017 гг. и 01.2018–06.2023 гг. Каталог составлен А. В. Боровиком и А. А. Ждановым в ИСЗФ СО РАН и передан в МЦД для хранения и распространения. Продолжается сбор данных для формирования «Накопительного интерактивного каталога значимых солнечных вспышечных событий рентгеновского класса M1 – X > 17,5 текущего 25-го солнечного цикла», автор В. Н. Ишков. Дополнены текущей информацией все продолжающиеся ряды данных по солнечной активности: солнечные пятна, поток радиоизлучения F<sub>10.7</sub>, данные о смене полярности на секторной границе межпланетного магнитного поля, таблицы солнечных циклов и их описания.

Таблица 4.1 – Цифровые изображения магнитограмм, опубликованные в 2023 г. на сайте МЦД по СЗФ вместе с информацией о приборах и базисных значениях

Название обсерватории	Код	Годы	Количество магнитограмм	Объем, Мб
Иркутск	IRT	1974–1978	1 871	19 986
Магадан	MGD	1976–1980	1 141	11 833
Минск	MNK	1966–1970	1 900	20 571
Тикси	TIK	1961–1965	2 240	20 065
<b>Всего:</b>			<b>7 152</b>	<b>72 466</b>

В МЦД по физике твердой Земли в разделе «Сейсмология» ежелекдно публикуются на сайте <http://www.wdcb.ru/sep/seismology/seismology.ru.html> в свободном доступе данные «Сейсмологического бюллетеня» и «Сейсмологического каталога», предоставляемые Единой геофизической службой РАН. По этим данным за 2022 г. дополнены каталог землетрясений и каталог механизмов очагов. Дополнены данными за период 2016–2020 гг. из ежегодников [Землетрясения Северной Евразии...] и [Землетрясения России...] каталоги землетрясений сейсмических регионов «Восточно-Европейская платформа», «Арктика» и «Шпицберген» в текстовом формате (в кодах ASCII). Подготовлены в текстовом формате каталоги землетрясений Северного Кавказа, Армении, Азербайджана и Грузии отдельно и объединенный каталог региона «Кавказ» за период 1992–2017 гг. по данным из [Землетрясения Северной Евразии...], а также каталоги землетрясений, взрывов и



объединенный каталог региона «Северный Кавказ» за период 2003–2021 гг. по данным из [Землетрясения России...]. Составлено подробное описание данных. На сайте МЦД по ФТЗ опубликован «Каталог землетрясений Осетинского сектора Большого Кавказа, 1962–2022 гг.» с описанием и картой (рис. 4.1), подготовленный коллективом авторов [Vorobieva et al., 2024].

Геофизический центр Российской академии наук - ГЦ РАН

**Мировой Центр Данных**  
по Физике Твердой Земли  
Москва, Россия

Мировая система данных МЦД в России и Украине

### Каталог землетрясений Осетинского сектора Большого Кавказа 1962 – 2022 гг.

Каталог представляет собой объединение данных о землетрясениях из региональных каталогов Единой Геофизической службы Российской академии наук (ФИЦ ЕГС РАН) (Северный Кавказ и Грузия), каталога из сборников «Сейсмический бюллетень Кавказа» (Институт геофизики АН Грузинской ССР) и данных Международного сейсмологического центра ISC Bulletin на территории, ограниченной координатами: 42°N, 43°E; 44.5°N, 43°E; 44.5°N, 45.5°E; 42°N, 45.5°E.

Каталог содержит информацию о 16 285 сейсмических событиях за период 1962–2022 гг. TXT

Объединение каталогов проводилось по авторской методике, изложенной в статье "Nearest neighbor method for discriminating aftershocks and duplicates when merging earthquake catalogs" by Vorobieva I.A., Gvishiani A.D., Dzeboev B.A., Dzeranov B.V., Barykina Yu.V., Antipova A.O. *Frontiers in Earth Science*. 2022. Vol. 10. DOI: 10.3389/feart.2022.820277.

Подробное описание каталога землетрясений Осетинского сектора Большого Кавказа будет дано в статье "Integrated Earthquake Catalog IV: The Ossetian sector of the Greater Caucasus" by Vorobieva I.A., Dzeboev B.A., Dzeranov B.V., Gvishiani A.D., Zaalishvili V.B., Sergeeva N.A., Nikitina I.M., Bosieva A.R. *Appl. Sci*. 2023.

Формат каталога PDF

(текстовый формат с разделителями TAB):

1. Год
2. Месяц
3. День
4. часы
5. минуты
6. Секунды
7. широта
8. Долгота
9. Глубина (известна не для всех землетрясений)
10. авторская (унифицированная) магнитуда
11. тип события:
  - eq – землетрясение
  - fe – ощущалось как землетрясение
  - ke – известное землетрясение
  - se – предполагаемое землетрясение
12. Исходный каталог
13. идентификатор события из каталога ISC (если известен)
14. Оригинальная магнитуда (из исходного каталога)
15. тип оригинальной магнитуды (из исходного каталога)

Карта эпицентров землетрясений с  $M \geq 2.0$  объединенного каталога Осетинского сектора Большого Кавказа за период 1962–2022 гг.  
GSR – объединение советских, российских и грузинских каталогов.

ISC  
GSR  
M 2 3 4 5 6 7

**Рисунок 4.1 – Интернет-страница с Каталогом землетрясений Осетинского сектора Большого Кавказа, 1962–2022 гг.**  
<http://www.wdcb.ru/sep/seismology/Ossetia/Ossetia.ru.html>

В МЦД ведется постоянная работа по проекту «Сохранение исторических данных» – преобразование в электронный вид геофизических данных, хранящихся в фондах на бумажном носителе. Процесс включает: сканирование бумажных документов, последующие редактирование, проверку и компьютерную обработку электронных документов для публикации в сети Интернет и обеспечения длительного хранения. Процессу сканирования предшествует трудоемкая подготовительная работа



по систематизации данных. Всего в 2023 г. отсканировано и обработано 42 000 листов бумажных документов с геофизическими данными: (1) Космические данные. Месячные обзоры с результатами наблюдений ионосферы, геомагнитного поля, космических лучей и сведениями о солнечной активности, 1966–1977 гг.; (2) Ежегодники «Землетрясения в СССР», 1962–1991 гг.; (3) Сейсмологический бюллетень сети опорных сейсмических станций СССР, 1957–1977 гг.

В 2023 г. созданы две базы данных (БД) об исторических землетрясениях. Для БД о сейсмоактивном регионе Фенноскандия использован каталог землетрясений Фенноскандии, созданный Г. Д. Панасенко и опубликованный в 4-х книжках. Оригинальные публикации отсканированы и представлены в электронном виде в формате PDF. Каталог землетрясений за период 1951–1985 гг. из публикаций переведен вручную в формат Microsoft Office Excel, сверен с оригиналом и затем переведен в текстовый формат (коды ASCII). Каталог содержит данные о 2 024 сейсмических событиях на территории с координатами 54,5–73,3°N, 0,3–39,7°E и включает основные параметры землетрясений. Опубликованная на сайте МЦД по ФТЗ БД (рис. 4.2) включает: PDF-копии оригинальных публикаций, объединенный каталог землетрясений в двух цифровых форматах XLSX и TXT, список сейсмических станций, описание формата каталога, построенные карты пространственного распределения эпицентров землетрясений и расположения сейсмических станций в Фенноскандии.

Вторая БД «Землетрясения Арктики, 1962–1991 гг.» сформирована на основе статей о сейсмичности Арктики и каталогов землетрясений из ежегодника [*Землетрясения в СССР...*]. Опубликованная на сайте МЦД по ФТЗ база данных (рис. 4.3) включает тексты статей с обзором сейсмической активности в Арктике, а также каталог землетрясений, переведенный в электронный формат PDF и вручную переведенный в цифровые форматы XLSX и TXT; список сейсмических станций и построенную карту с расположением станций и пространственным распределением эпицентров землетрясений. Обе БД предназначены для обеспечения свободного доступа в сети к данным об исторических землетрясениях сейсмоактивных зон и зарегистрированы в Федеральной службе по интеллектуальной собственности РФ (свидетельства о государственной регистрации БД № 2023624373 и № 2023624372 от 05.12.2023 г.).



Рисунок 4.2 – Страница сайта МЦД по ФТЗ для БД «Землетрясения Фенноскандии в 1951–1985 гг.»

<http://www.wdcb.ru/sep/seismology/Fennoscandia/FEN.ru.html>

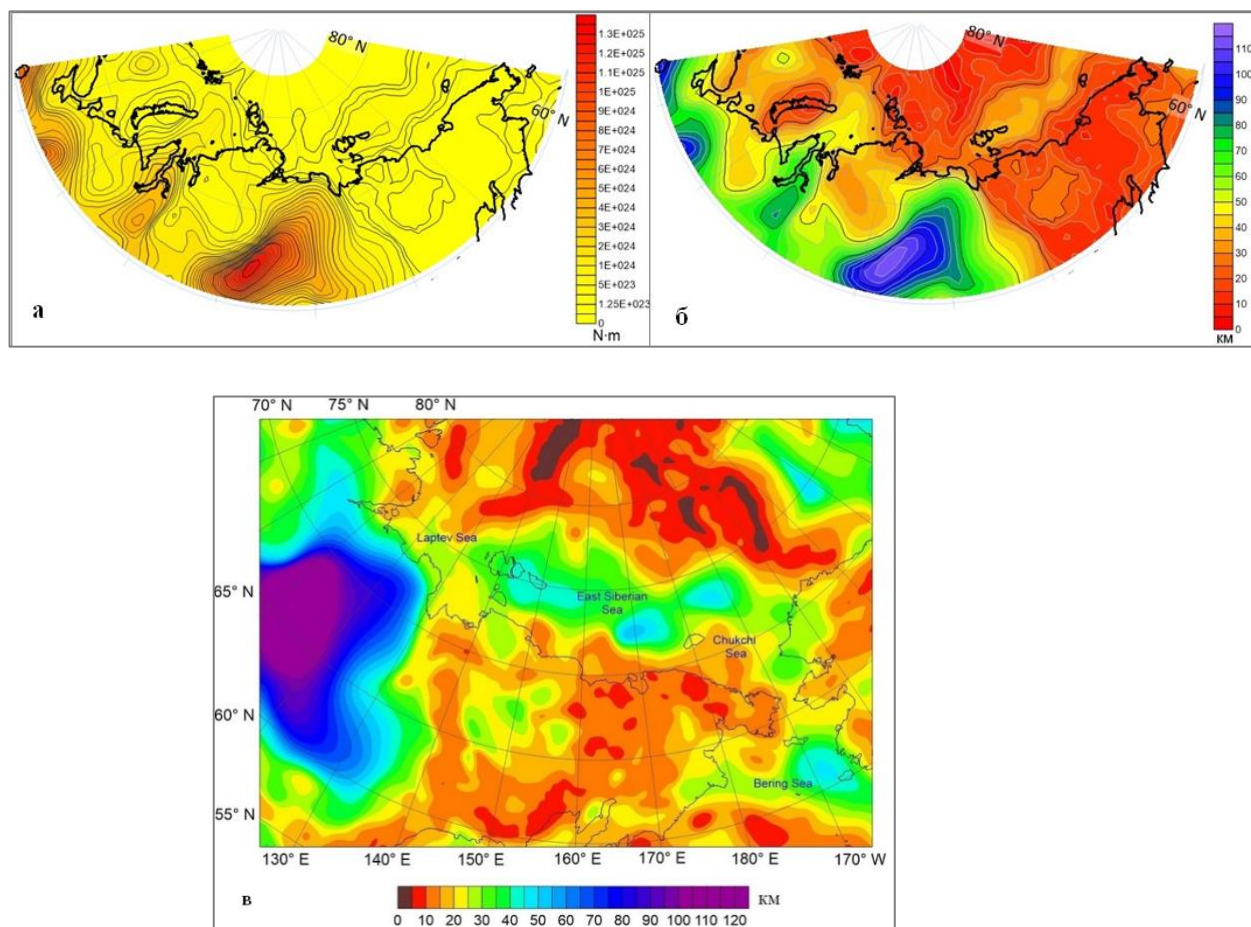


Рисунок 4.3 – Страница сайта для БД «Землетрясения Арктики, 1962–1991 гг.»

<http://www.wdcb.ru/sep/seismology/Arctic/Arctic.ru.html>



В 2023 г. новые информационные ресурсы размещены на сайте «**Арктика – Антарктика. Геофизические данные**» [http://www.wdcb.ru/arctic\\_antarctic/index.ru.html](http://www.wdcb.ru/arctic_antarctic/index.ru.html). Создан новый раздел «**Арктика. Свойства литосферы**», где размещены карты распределения изгибной жесткости и эффективной упругой мощности литосферы Арктической зоны Российской Федерации (рис. 4.4) и наборы данных, использованные для построения карт. Авторы: Р. В. Сидоров и М. К. Кабан.



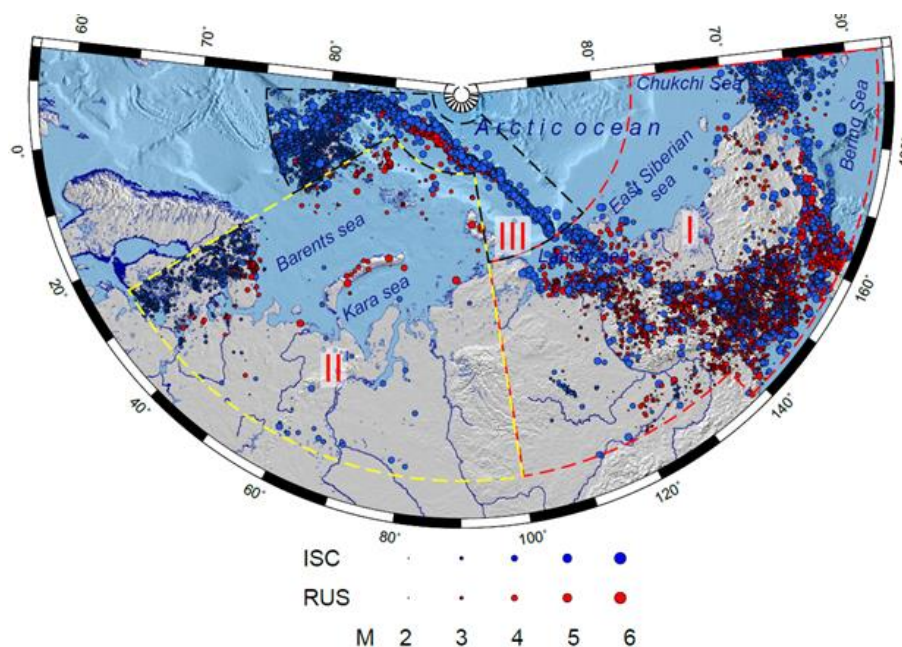
**Рисунок 4.4 – Карты изгибной жесткости (а), эффективной упругой мощности (б) литосферы для Арктической зоны Российской Федерации и детальная карта эффективной упругой мощности с пространственным разрешением 10×10 км для северо-восточной Евразии (в)**

[http://www.wdcb.ru/arctic\\_antarctic/arctic\\_rigidity.ru.html](http://www.wdcb.ru/arctic_antarctic/arctic_rigidity.ru.html)

В разделе «**Антарктика. Геомагнитные данные**» размещена БД «Региональные геомагнитные УНЧ индексы для сопряженных областей в Антарктиде и Гренландии», созданная О. В. Козыревой и В. А. Пилипенко. На странице сайта приведены: описание метода построения регионального волнового УНЧ-индекса; список выбранных сопряженных станций в Антарктиде и Гренландии; пример

использования УНЧ-индексов; описание БД; массивы УНЧ-индексов для северного и южного полушарий и магнитограммы для периода 2002–2019 гг.

В разделе «Арктика. Сейсмологические данные» опубликованы: «Каталог землетрясений западного сектора Арктической зоны Российской Федерации» и «Каталог землетрясений хребтов Гаккеля и Книповича, а также архипелага Шпицберген». Каталоги подготовлены группой авторов [Vorobieva et al., 2023a, 2023b]. В 2023 г. авторами проведена работа по объединению этих двух каталогов с каталогом землетрясений для восточного сектора Арктической зоны РФ [Gvishiani et al., 2022], опубликованным в сети в 2022 г. Объединенный каталог также опубликован в этом разделе (рис. 4.5).



**Рисунок 4.5 – Карта эпицентров землетрясений объединенного каталога землетрясений Арктической зоны Российской Федерации (включая хребты Гаккеля и Книповича, а также архипелаг Шпицберген) за период 1962–2022 гг.**  
[http://www.wdcb.ru/arctic\\_antarctic/arctic\\_seism\\_4.ru.html](http://www.wdcb.ru/arctic_antarctic/arctic_seism_4.ru.html)

В 2023 г. обновлены главные страницы сайтов МЦД по СЗФ и по ФТЗ на русском и английском языках. Сделана новая редакция страниц раздела «Солнечная активность и межпланетная среда» на русском языке, новая редакция страниц «Сейсмологические данные», относящихся к каталогам землетрясений, и многих страниц тематического сайта «Арктика – Антарктика. Геофизические данные».

В ГЦ РАН с 2014 г. действует проект «База данных по наукам о Земле» / «Earth Science DataBase» (ESDB) по созданию современной системы



регистрации, публикации и цитирования геофизических данных с присвоением цифрового идентификатора объекта DOI через агентство Crossref. Создаваемая БД предоставляет возможность для цитирования данных, используя DOI. Включение данных с DOI в различные индексные системы важно для повышения эффективности использования данных, развития культуры цитирования данных, повышает заинтересованность обсерваторий в качестве производимых данных и передаче их в МЦД. В 2023 г. подготовлены описания в стандарте Crossref XML-схемы и осуществлена регистрация в Crossref двух наборов данных и девяти баз данных, которые опубликованы в «Базе данных по наукам о Земле». Страницы отклика для зарегистрированных наборов и баз данных доступны на веб-сайте Центрального репозитория ESDB <https://esdb.wdcb.ru/>.

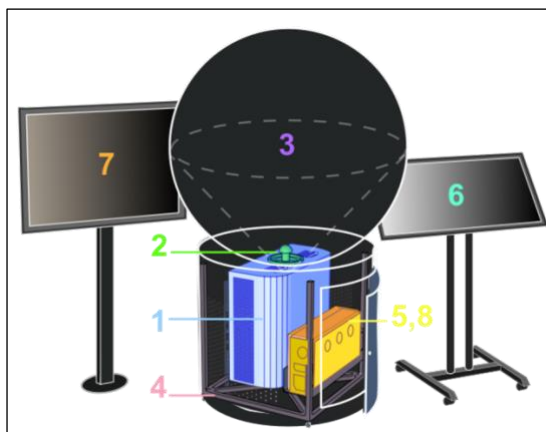
## **4.2. Интерактивные сферические визуализации**

Интерактивная сферическая визуализация (ИСВ) данных, получившая широкое применение в системах интерактивной обработки пространственно-координированных данных с географической привязкой (геопространственных данных) посредством разноформатных гиперглобусов [Бояришинов, Захарова, 2022], также называемых цифровыми глобусами, обеспечивает трёхмерное, анимационное, мультимедийное представление геопространства, а также интерфейсы для обработки визуализируемых данных.

В 2023 г. проведены работы на базе аппаратно-программного комплекса «ORBUS», представляющего экземпляр гиперглобуса тактильного формата. Выполнены исследование и усовершенствование технологий реализации системы обратной проекции на сферический экран (СОП СЭ); конкретизирован алгоритм адаптации данных под ИСВ на примере создания нового тематического блока; предложена оптимизация к программным механизмам обработки данных и методам естественного взаимодействия.

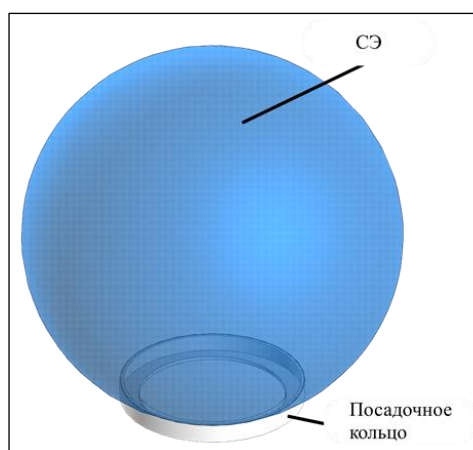
### **4.2.1 Разработка технологии реализации системы обратной проекции на сферический экран**

Оптимизация и модернизация компонентов СОП СЭ, что, в случае «ORBUS», представлены проектором, объективом, сферическим проекционным экраном и базой-постаментом (рис. 4.6), оказывает непосредственное влияние на итоговое качество визуализации.



**Рисунок 4.6 – Структурная схема комплекса «ORBUS»: проектор (1), объектив (2), сферический проекционный экран (3), база-постамент (4), компьютер (5), сенсорная (6) и ЖК (7) панели, программное обеспечение (8)**

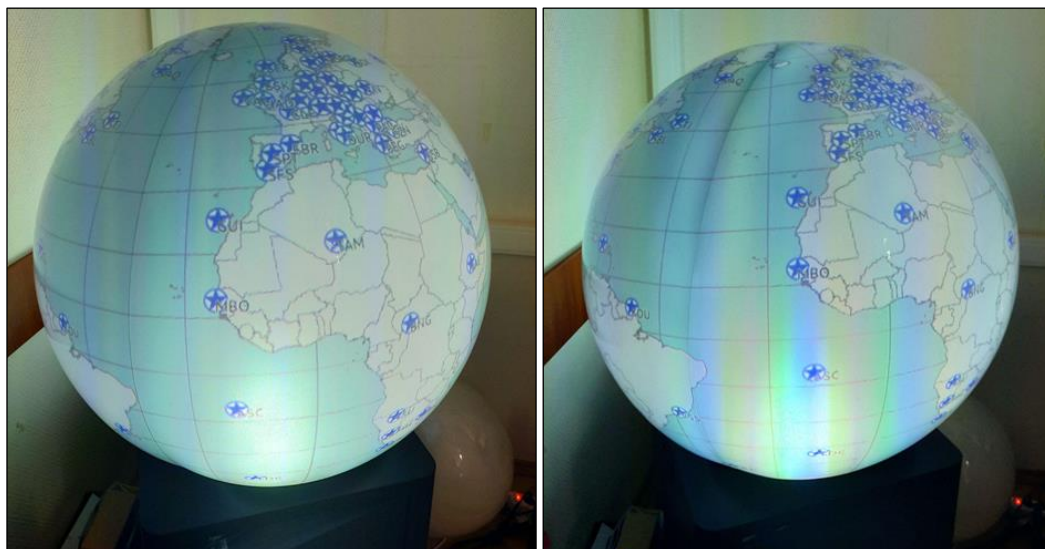
**Сферический проекционный экран.** По разработанной технологии, описанной ниже, спроектировано и изготовлено несколько образцов СЭ, представляющих собой твердотельный полый шар из акрилового полимера (рис. 4.7).



**Рисунок 4.7 – 3D модель СЭ**

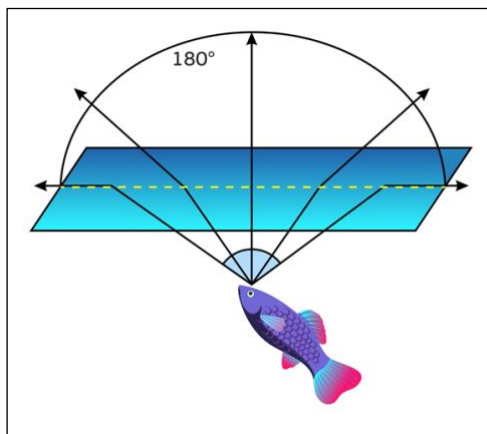
Взамен используемой ранее редкой и дорогостоящей экспортной технологии ротационного литья предлагается метод выдувания полусфер из листов акрила с их последующей склейкой и пескоструйной обработкой внутренней поверхности для повышения визуальных качеств обратного проецирования. Побочным эффектом технологии является видимый шов, который, однако, предложено исполнить вертикально (по виртуальному меридиану), чтобы он был видим только при определенных ракурсах.

Важное значение имеет способ обработки шва склейки. Экспериментальным способом показано, что аккуратная контактная склейка без дополнительной шлифовки и полировки шва заметно снижает его видимость (рис. 4.8).



**Рисунок 4.8 – СЭ с едва различимым (слева) и явно видимым (справа) швом. В обоих случаях настройки оборудования идентичны**

**«рыбий глаз» и метод обратной проекции.** Совместно с российскими партнерами разрабатывается технология адаптирования под СЭ объектива типа «рыбий глаз», изначально предназначенного для купольной проекции. Несмотря на то, что объективы для купольной проекции и объективы для обратного проецирования на СЭ обеспечивают развертку изображения на  $180^\circ$  (рис. 4.9) схожим образом, они различаются по распределению светового потока на проецируемую поверхность: для достижения равномерной яркости изображения для купольной проекции необходимо ослабление центрального луча и усиление по мере приближения к краевым, для сферического экрана – инверсивно. Таким образом, при использовании объектива для купольной проекции для обратного проецирования на СЭ неравномерность наиболее явно проявляется при малой яркости проектора совместно с увеличением диаметра СЭ.



**Рисунок 4.9 – Преломление света через водную гладь лежит в основе принципа действия объектива типа «рыбий глаз»**



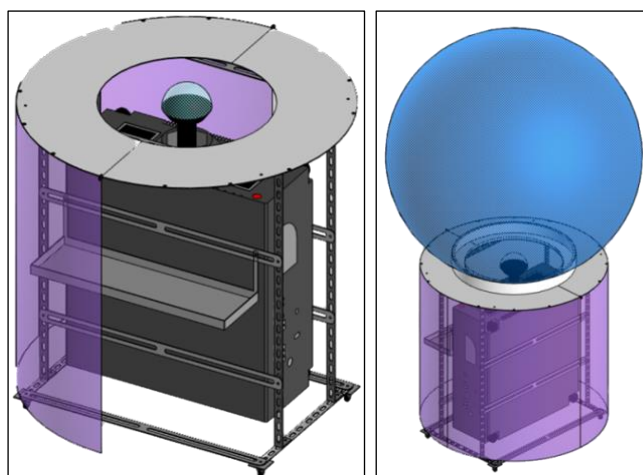
В качестве альтернативы описанный принцип работы объектива для купольной проекции в связке со СЭ может быть нивелирован градиентной обработкой внутренней поверхности СЭ, когда давление пескоструйной обработки снижается от южного к северному виртуальному полюсу пропорционально закону распределения яркости, в совокупности определяемому объективом и проектором.

**База-постамент.** Для базы-постамент, предназначенного для монтажа компонентов 1–3 и 5, а также сокрытия всех инженерно-технологических узлов Комплекса, разработана новая конструкция, отвечающая следующим требованиям:

- универсальность по отношению к умеренной вариативности габаритов и технологических особенностей встраиваемых элементов, прочность конструкции;
- быстрая сборка-разборка и транспортабельность;
- снижение сроков и сложности производства в РФ, низкая стоимость работ.

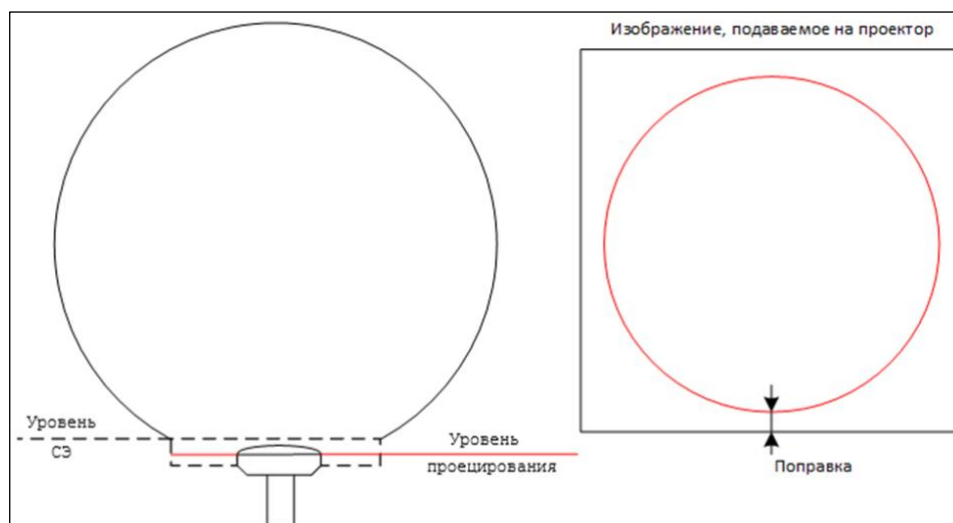
На основе вышеуказанных требований проведены расчёты, учитывающие усреднённые значения массо-габаритов проекторов и СЭ ( $d = 1$  м) и оптимизирующие состав конструкции: балки «Основная», «Вертикаль», «Горизонталь»; полка для компьютера; колеса стоп-системы; съёмная крышка.

Для всех элементов используется единое резьбовое соединение, совпадающее со стандартом крепежа проекторов VESA (Video Electronics Standards Association), с целью взаимозаменяемости крепежных изделий и ускорения монтажа конструкции. Разработанная конструкция легка и разборна в отличие от всех ранее созданных реализаций. Опционально может быть произведена облицовка конструкции акриловыми листами или материалами другого типа (рис. 4.10).



**Рисунок 4.10 – 3D модель базы-постамент, облицовка маркирована фиолетовым цветом**

**Программная корректировка изображения.** Изображение, подаваемое на проектор, выполнено в специальной азимутальной проекции. В завершение развёртывания СОП СЭ требуется донастройка изображения, что предусматривается в ПО «ORBUS» параметрами, описанными ниже. Параметр `SPHERE_TEX_SCALE` корректирует коэффициент масштабирования, выводимого проектором изображения, компенсирующего разницу между вертикальными уровнями нижних границ плоскости проецирования и СЭ (совпадает с верхней границей посадочного кольца). Коэффициент принимает следующие значения: 1,0 – в случае совпадения уровней; от 0,9 до 0,(9) – регулируется в случае расположения объектива ниже (рис. 4.11 слева) во избежание частичного проецирования изображения во внутрь базы-постаменты, что приводит к невозможности отображения нижней приполярной области, а также к искажениям в остальных областях. Хотя уменьшение коэффициента нивелирует описанный недостаток, однако приводит к пропорциональному снижению эффективной области изображения, поэтому диапазон ограничен снизу значением 0,9, т. е. поправка не более 10% (рис. 4.11, справа).



**Рисунок 4.11 – Компенсация разницы вертикальных уровней нижних границ плоскости проецирования и СЭ с помощью параметра `SPHERE_TEX_SCALE`**

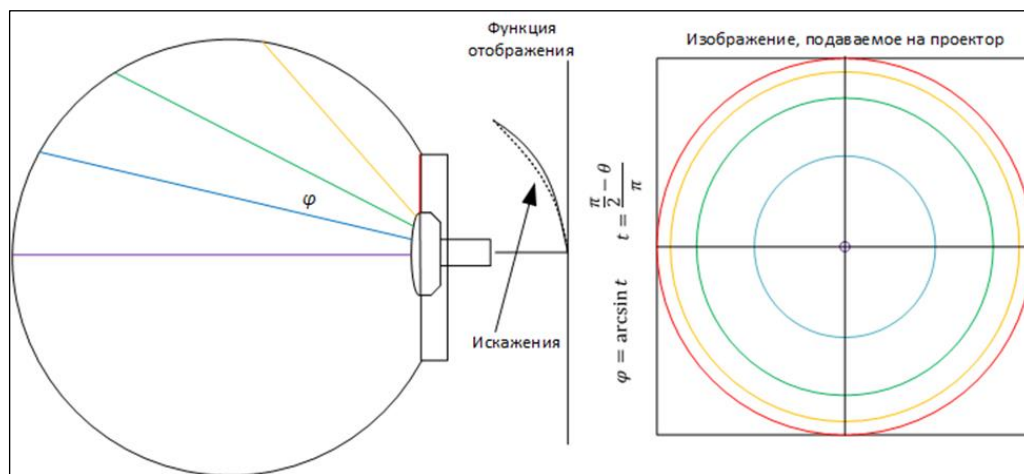
По умолчанию изображение формируется так, что параллели представлены концентрическими окружностями с центром в полюсе  $90^\circ$  с. ш.; соответственно, окружность с максимальным радиусом, равным половине ширины текстуры, соответствует  $90^\circ$  ю. ш. (рис. 4.12, справа). Координаты текстелей, соответствующих линиям других широт, определяются исходя из оптического закона, реализованного в объективе «рыбий глаз». Параметр `LENSE_PROJ` определяет классические случаи проекционного отображения: «0» – эквидистантного (простейший случай – линейная





зависимость широта-радиус),  $\varphi = \frac{\pi}{2}t$ ; «1» – стереографического,  $\varphi = 2\arctg(t)$ ; «2» – ортографического,  $\varphi = \arcsin(t)$  (по умолчанию); «3» – азимутального,  $\varphi = 2\arcsin(\frac{\sqrt{2}}{2}t)$ . При этом  $t \in [-1; 1]$  задает относительную координату текстуры, подаваемой на вход проектора,  $\varphi$  соответствует углу отклонения от центральной оси объектива.

Однако в реальности сборка СОП СЭ не всегда строго соответствует обозначенным математическим моделям, потому как встречается неравенство  $180^\circ$  угла развертки проекции и другие индивидуальные особенности объектива, формы экрана в виде сферических сегментов и т.п. Все это требует дополнительных искажений изображения, которые перманентны для конкретного комплекса и могут быть скорректированы посредством использования полиномиальных зависимостей (рис. 4.12 слева): параметр `CORR_TYPE` задает вид корректирующей функции (0 – синусоидальная, 1 – без коррекции, 2 – степенная), а `CORR_COEF` – показатель степени корректирующей функции.



**Рисунок 4.12 – Корректировка ортографической проекции (`LENSE_PROJ = 2`) с помощью полиномиальной зависимости, определяемой параметрами `CORR_TYPE` и `CORR_COEF`**

#### **4.2.2 Создание и адаптация данных под интерактивную сферическую визуализацию**

Слайд ИСВ – это совокупность данных цифровой модели планетарного явления или процесса, одновременно и согласованно визуализируемых посредством трёх видеоустройств:



- проектора в составе СОП СЭ для вывода карты сферического формата (образа планетного шара);
- сенсорной панели для вывода графического интерфейса управления интерактивной визуализацией;
- ЖК-панели для вывода иллюстрированных справочных материалов.

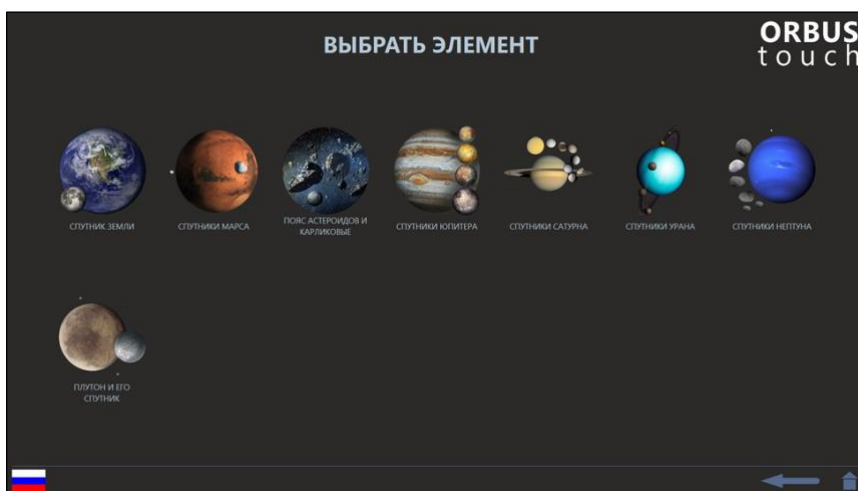
Создание нового тематического блока (группы слайдов) определено в следующий алгоритм работы:

1. поиск и изучение информационных источников на предмет актуальной, интересной и подходящей по формату представления информации;
2. создание логической структуры раздела (при необходимости многоуровневой);
3. поиск материалов и/или референсов для создания слайда (карта, описание, иллюстрации, инфографика, иконки, подписи);
4. обработка графического контента (сложность и суть работ зависит от типа и качества входящих данных);
5. сборка слайдов в формате ПО;
6. валидация, вычитка и, при необходимости, итеративная корректировка слайдов.

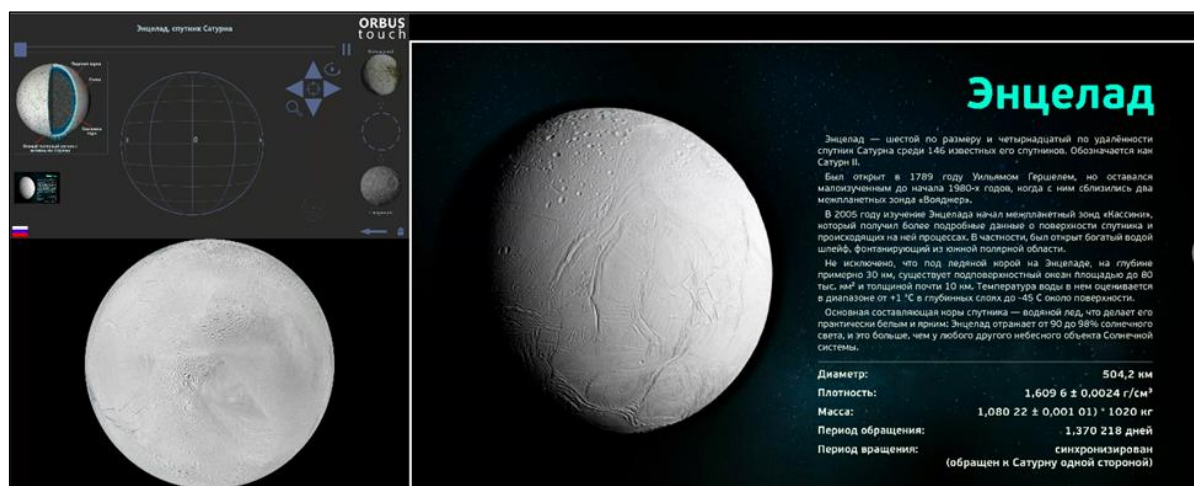
Приложением результата работ является лекционное или самостоятельное изучение, поскольку вся необходимая сопроводительная информация интерактивно автоматически отображается в ходе демонстрации, а навигация по слайдам и управление ими являются интуитивно понятными.

На сегодняшний день ведутся работы по сопряжению созданной коллекции слайдов «База сферических визуализаций: Астрономия (планеты Солнечной системы)» (свидетельство о государственной регистрации БД № 2023622993 от 30.08.2023) с новым тематическим разделом, где визуализируются фотоизображения наиболее известных спутников планет и других астрономических тел, а также систематизированы данные по ним.

В текущем состоянии раздел образуют 29 слайдов, распределённых по 8 подгруппам в соответствии с принадлежностью к планете либо скоплению астрономических тел (рис. 4.13). Каждому слайду ИСВ соответствуют индивидуальные заголовки (краткий и расширенный (анимационный в ряде случаев)), карта, иконка, инфолегенда о внутреннем строении астрономического тела и иллюстрированные справочные материалы по его физическим параметрам, выводимые на соответствующие видеоустройства (рис. 4.14).



**Рисунок 4.13 – Пример представления тематического раздела под рабочим названием «База сферических визуализаций: Астрономия (спутники планет и другие небесные тела)»**

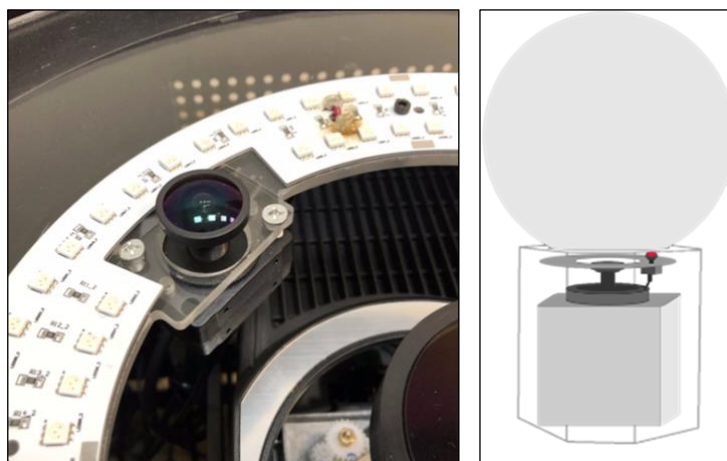


**Рисунок 4.14 – Пример визуализации слайда «Энцелад, спутник Сатурна». Изображения передаются на соответствующие видеоустройства: проектор в составе СОП СЭ (слева снизу), сенсорная панель (слева сверху) и ЖК панель (справа)**

#### 4.2.3 Развитие семейства программ «ORBUS»

Для расширения возможностей интерактивной работы со слайдами ИСВ, в продолжение развития ПО «ORBUS» выпущена версия 3.1 (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023669257 от 12.09.2023), обеспечивающая выполнение и использование результата вычислений Python-скриптов. Такие скрипты модифицируют файлы БД, редактируя в реальном времени XML-поля описания слайда, в том числе слои растровых данных и слои картографических знаков (надписей, иконок). В зависимости от сценария визуализации скрипт может выполняться как единоразово (при запуске визуализации), так и в цикле анимации.

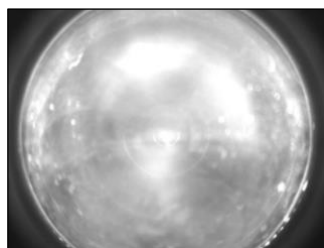
Для реализации функционала пользовательского интерфейса посредством взаимодействия со СЭ продолжается развитие ПО «ORBUS Sensor» (актуальное свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021668672 от 18 ноября 2021 г.). Для его работы используется установленная вблизи объектива ИК-камера с углом развёртки 180° и подсветкой (рис. 4.15).



**Рисунок 4.15 – Фотография ИК-камеры с подсветкой (слева) и схема места её расположение (справа)**

С целью распознавания жестов и нажатий изображение с ИК-камеры претерпевает обработку по следующему алгоритму:

1. При запуске в системе сохраняется референсный снимок (рис. 4.16).

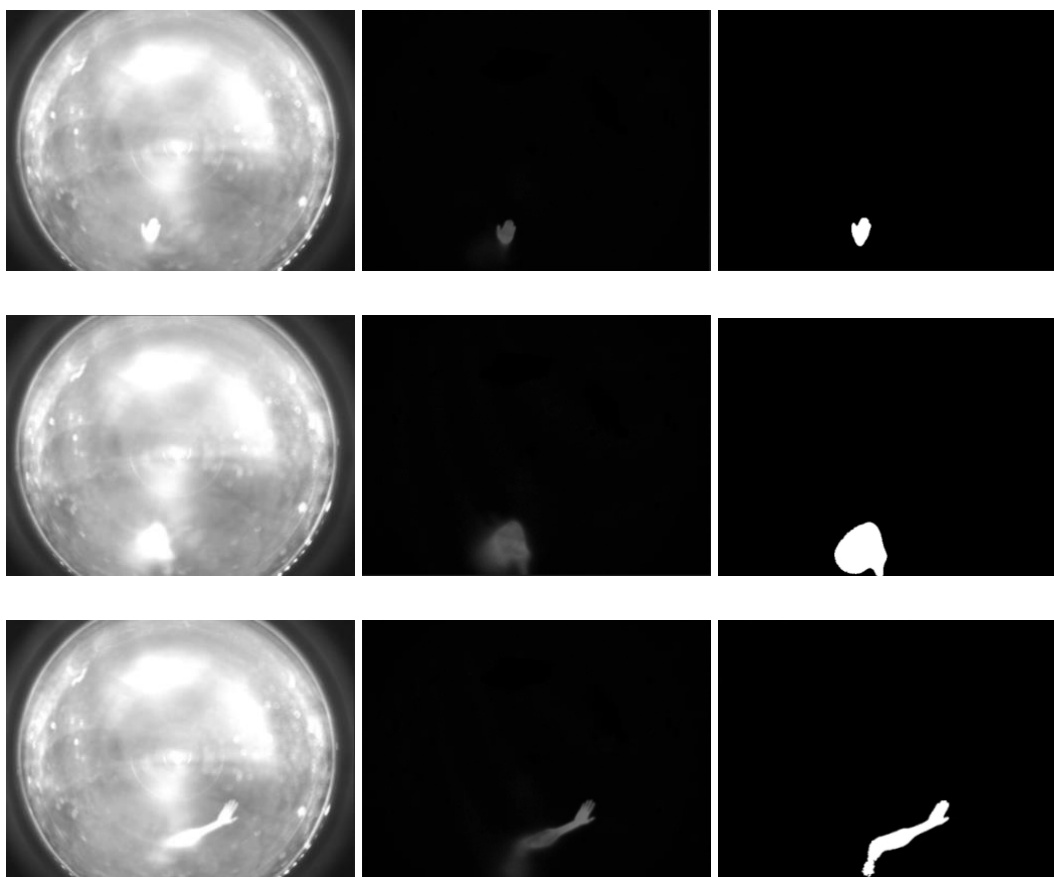


**Рисунок 4.16 – Референсный снимок**

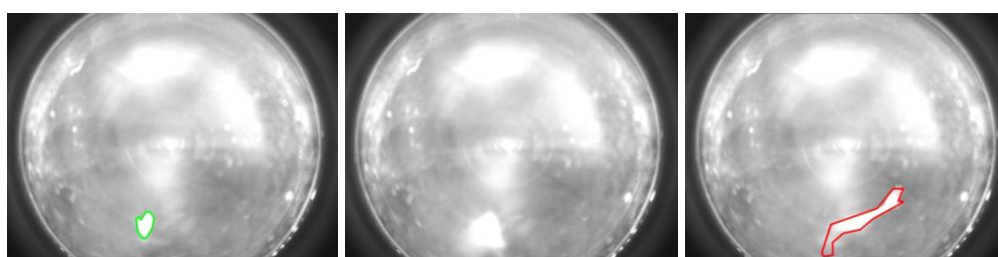
2. Все дальнейшие снимки сравниваются с референсным для получения разностной картины (рис. 4.17) и проведения пороговой обработки.

3. Для полученного бинарного изображения производится контурная обработка. Контурные фильтруются по следующим соотношениям: площадь, периметр, ограничивающий прямоугольник. Так отбрасываются слишком большие контуры, полученные, например, когда пользователь задевает СЭ плечом (рис. 4.18, б); либо слишком малые контуры (фантомный свет). Соотношения между площадью и

периметром, а также сторонами охватывающего прямоугольника позволяют разделить случаи, когда в кадр попадает только ладонь (рис. 4.18, а) либо рука целиком (рис. 4.18, в).



**Рисунок 4.17 – Разностная картина и проведение пороговой обработки**



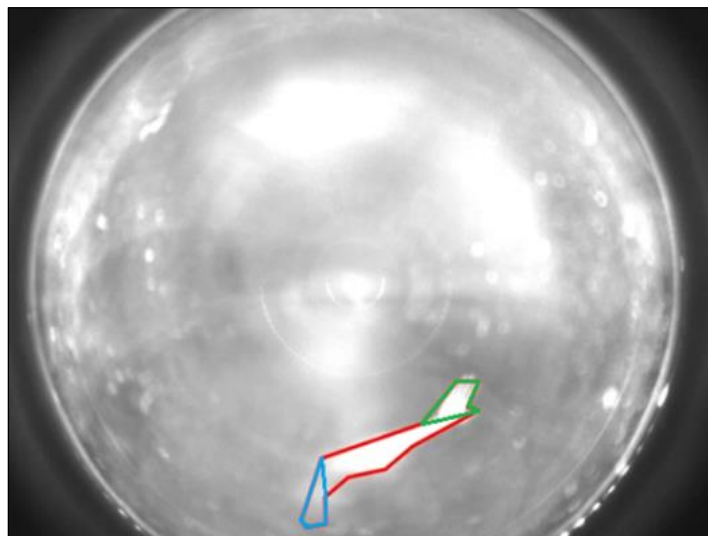
а б в

**Рисунок 4.18 – Выделение контуров**

4. В случае попадания в кадр всей руки (рис. 4.18, в) требуется сегментация ладони. Для этого выполняется поиск крайних точек в направлении максимальной длины контура. Около этих точек выполняется построение локальных полигонов с вычислением средней яркости на разностной картине. Наиболее яркий контур



принимается за ладонь (рис. 4.19).

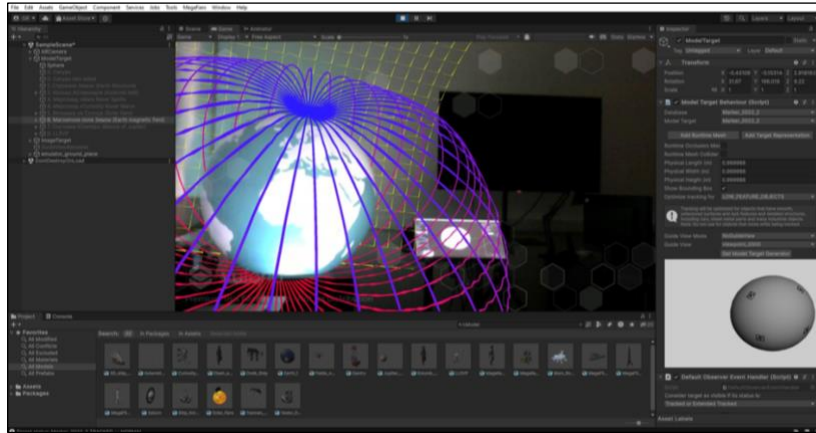


**Рисунок 4.19 – Сегментация ладони на контуре руки**

5. После захвата контура выполняется запись центральной его точки и средней яркости, а также времени получения изображения. При обработке последовательности изображений по перемещению центральной точки вычисляется траектория перемещения ладони, а по изменению средней яркости – сила нажатия.

Текущая стадия ПО «ORBUS AR» представляет собой кроссплатформенную среду разработки компьютерных игр Unity 2023.2.0 с предустановленным инструментарием разработчика программного обеспечения SDK (Software Development Kit) дополненной реальности Vuforia Engine 10.19.3 (версии ПО актуальны на ноябрь 2023 г.). К дистрибьюции предлагается Unity-проект с набором 3D сцен из БД «ORBUS AR 1.0» (свидетельство о государственной регистрации БД № 2019620674 от 19.11.2021), содержащей 15 визуализаций, в ряде случаев анимированных.

Конечный пользователь активирует одну или несколько сцен и соответствующий ей родительский тип AR-маркеров: 3D – планетарный шар «Model Target» или 2D – картографическая иконка «Image Target». При тестовом запуске проекта и наведении камеры на AR-маркер 3D объект появляется в кадре (рис. 4.20). На усмотрение пользователя могут быть отредактированы свойства 3D объекта, как позиция, масштаб, анимация и т.д. После завершения манипуляций приложение компилируется под целевое устройство на базе операционных систем Android, iOS или UWP.



**Рисунок 4.20 – Unity-проект «ORBUS AR 1.0» с активной сценой «Магнитное поле Земли»**

### **4.3 Результаты циклостратиграфических исследований**

В 2023 г. был проведено обобщение комплекса циклостратиграфических исследований разновозрастных осадочных толщ с оценкой их геолого-геофизических характеристик и статистической обработкой базы данных. Полученные результаты изложены в специальном разделе коллективной монографии «Неоген Восточного Паратетиса: регионарная шкала, опорные разрезы и проблемы корреляции», изданной в 2023 г. [Попов и др., 2023].

Объектом циклостратиграфических исследований являлись конкские, мэотические и понтические отложения, вскрытые в разрезах Таманского полуострова (Восточный Паратетис), ранее детально изученные как палеонтологическими, палеомагнитными, так и литологическими методами. Отложения конкского регионаруса исследовались в разрезе горы Зеленского, нижнего мэотиса – в разрезе Попов Камень, верхнего мэотиса и понта – в разрезе Железный Рог. В этих опорных разрезах вскрываются относительно глубоководные толщи миоцена, сложенные в основном глинами.

В ходе выполнения работ циклостратиграфические исследования рассматривались как новое направление в стратиграфии и седиментологии для выявления, характеристики, корреляции и интерпретации циклических изменений в осадочных комплексах, путем восстановления геохронологии с применением высокоточных технологий [Hilgen et al., 2004]. При этом приоритетным является определение астрономической цикличности, глобально проявляющейся и отражающейся в строении осадочных толщ (например, циклы Миланковича).

Для выявления циклического строения толщ использовались замеры магнитной восприимчивости пород. Измерения выполнялись на открытых (незадернованных) интервалах разрезов непрерывно через каждые 20 см вкост простираня слоев капаметром КТ-5 (Geofyzika BRNO, Чехия). В каждой точке было сделано по три замера. Всего было получено 4 338 определений.

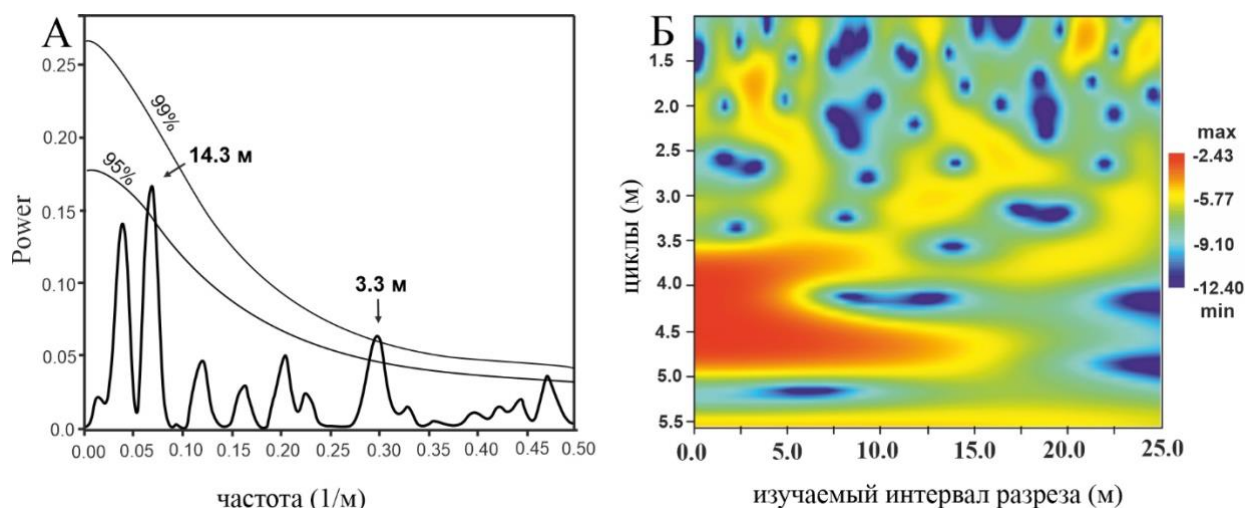
В лабораторных условиях средние значения, полученные по замерам в каждой точке, были использованы при статистической обработке данных. Средние значения магнитной восприимчивости пород были трансформированы с помощью функций логарифма и детренд-анализа. Полученные данные были обработаны с использованием программного обеспечения PAST [Hammer et al., 2001], позволяющего получать Lomb-Scarle- и REDFIT-периодограммы, а также проводить вейвлет-анализ [Schulz, Mudelsee, 2002].

В дальнейшем Lomb-Scarle- и REDFIT-периодограммы были трансформированы с пересчетом значений частот на длину циклов в метрах. Результаты построения Lomb-Scarle-периодограмм служили основой для обработки данных с помощью программы AnalySeries [Paillard et al., 1996], позволяющей использовать разложение Гаусса. Часть полученных данных, пригодных для соответствующего вида исследований, была сопоставлена с кривой отклонений инсоляции, связанных с долгопериодическими колебаниями эксцентриситета орбиты Земли [Laskar et al., 2004] с учетом имеющихся возрастных (био- и магнитостратиграфических, радиологических) датировок изучаемых отложений.

При подсчете скоростей седиментации не учитывался эффект уплотнения отложений, так как средне-верхнемиоценовые отложения соответствуют начальной стадии преобразования пород (диагенезу) с сохранением скелетного биогенного опала, характеризующейся незначительным действием литостатического давления (не более 20% от первичной мощности).

#### **4.3.1 Астрономическая цикличность изучаемых конкских отложений**

В ходе циклостратиграфических исследований установлено, что магнитная восприимчивость ( $K$ ) пород конкских отложений (разрез Зеленского) характеризуется значениями от 0,06 до  $0,24 \cdot 10^{-3}$  ед. СИ (в среднем  $0,15 \cdot 10^{-3}$  ед. СИ). Спектральный анализ данных магнитной восприимчивости пород конкских отложений позволил выявить два резко выраженных пиковых значения, отвечающих циклам протяженностью 3,3 и 14,3 м (рис. 4.21).



**Рисунок 4.21 – Результаты REDFIT (А) и Вейвлет (Б) анализа данных по магнитной восприимчивости конкских пород разреза горы Зеленского Таманского полуострова**

Отношение установленных циклов длиной 3,3 и 14,3 м составляет 1:4 (1:4,3), что соотносится с долгопериодическими колебаниями инсоляции около 100 и 24 тыс. лет, а также 100 и 400 тыс. лет. Если цикл длиной 3,3 м отвечает прецессионным вариациям, то длительность накопления сартаганских и веселянских слоев, общей мощностью около 6–7 м, составляет  $\sim 50$  тыс. лет. При этом скорость осадконакопления составляла около 13–14 см/1000 лет. Если этот цикл рассматривать как отражение 100-тысячелетних колебаний эксцентриситета орбиты Земли, то сартаганские и веселянские слои осаждались в среднем со скоростью 3,3 см/1000 лет в течение  $\sim 200$  тыс. лет. В последнем случае полученные значения хорошо согласуются с данными о длительности формирования сартаганских и веселянских слоев в изучаемом разрезе на протяжении около 240 тыс. лет при скоростях осадконакопления около 2,16 см/1000 лет.

Установлено, что формирование этих толщ происходило при неоднократной смене режимов седиментации, обеспечивающих образование глинистых и карбонатных осадков различного генезиса. Это обстоятельство следует учитывать при интерпретации полученных данных, так как накопление качественно отличающихся типов отложений происходило с разной скоростью. В связи с этим с вышеперечисленными трудностями стратиграфии конкских отложений представляется, что полученные данные по астрономической цикличности этих толщ следует пока рассматривать в качестве промежуточных, требующих дальнейшего доизучения на других разрезах среднего миоцена.



### 4.3.2 Астрономическая цикличность изучаемых мэотических отложений

В нижнемэотических отложениях (разрез Попов Камень) значения магнитной восприимчивости пород колеблются от  $0,02$  до  $0,18 \times 10^{-3}$  ед. СИ. В рассматриваемых отложениях значения магнитной восприимчивости пород колеблются от  $0,02$  до  $0,18 \times 10^{-3}$  ед. СИ. Спектральный анализ выделил сигнал  $5,2$ – $6$  м (min =  $5,2$  м, в среднем =  $5,6$  м и max =  $6,0$  м), как статистически важный. Этот сигнал с учётом длительности раннего мэотиса около  $1,9$  или  $0,9$  млн лет и мощности рассматриваемых отложений может быть сопоставлен с изменениями эксцентриситета орбиты Земли ( $100\ 000$  лет) и угла наклона земной оси ( $41\ 000$  лет).

Если сигнал  $5,2$ – $6$  м отвечает колебаниям эксцентриситета орбиты Земли ( $100\ 000$  лет), то учитывая мощность рассматриваемых отложений ( $\sim 105$  м), длительность раннего мэотиса может достигать  $1,9$  млн лет. В этом случае среднее значение скорости седиментации должно составлять не более  $5$  см/ $1000$  лет, что является достаточно низким показателем, учитывая особенности формирования современных осадков в Чёрном море и интенсивное развитие диатомового осадконакопления в мэотисе.

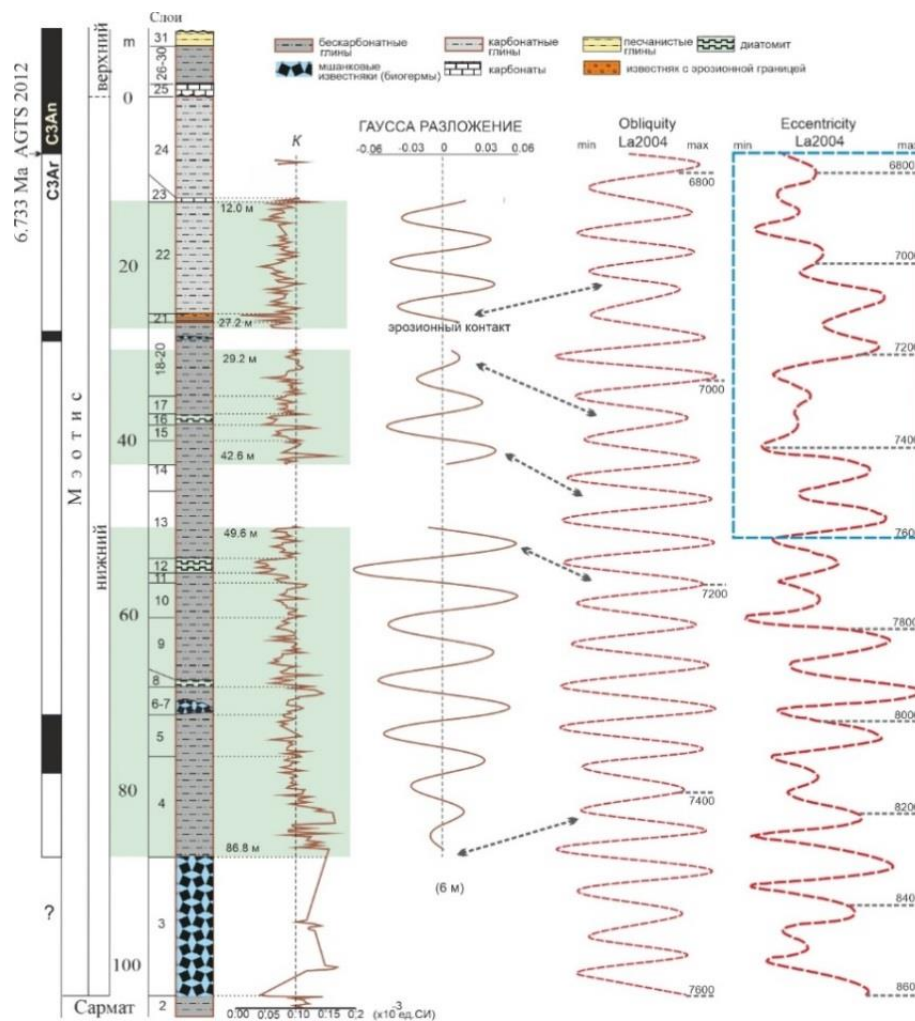
Если сигнал  $5,2$ – $6$  м отвечает колебаниям наклона оси Земли ( $41\ 000$  лет), то при мощности рассматриваемых отложений около  $105$  м, длительность раннего мэотиса может составлять около  $0,9$  млн лет. При такой интерпретации скорости седиментации в среднем были  $11$ – $12$  см/ $1000$  лет, что хорошо согласуется с данными о характере осадконакопления в Черном море. Сопоставление результатов обработки данных с помощью разложения Гаусса показало заметное сходство распределения сигнала с кривой колебаний инсоляции [*Laskar et al., 2004*] в период с  $7,6$  по  $6,7$  млн лет. Прослеживается определенная аналогия по распределению амплитуд и размаху колебаний (рис. 4.22).

Изучаемые верхнемэотические отложения (разрез Железный Рог) характеризуются значениями магнитной восприимчивости пород от  $0,01$  до  $0,45 \times 10^{-3}$  ед.

Спектральный анализ данных магнитной восприимчивости пород показал, что во всех рассмотренных интервалах разреза прослеживается сходное распределение сигналов. На Lomb-Scargle- и REDFIT-периодограммах прослеживаются три интервала с хорошо выраженными пиковыми значениями. В рассматриваемом интервале выделяется пик между  $7,1$ – $8,9$  м. Различие в значениях этого сигнала, скорее всего, связано с изменчивостью скорости седиментации – с более интенсивным

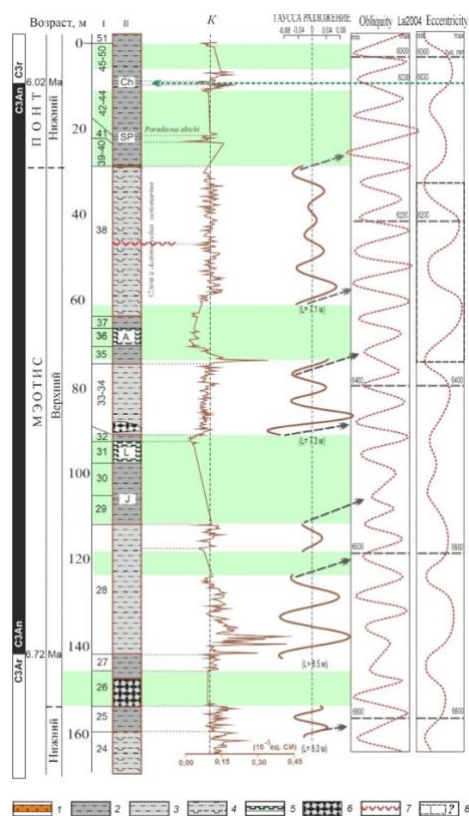


накоплением осадков или с некоторым снижением темпа формирования отложений. На Lomb-Scargle- и REDFIT-периодограммах выделяются также пики 4, 3–3,2 и 1,36 м, которые, скорее всего, сопоставимы с колебаниями прецессии. Учитывая длительность накопления осадков (около 0,7 млн лет) и мощность отложений (около 130 м) рассматриваемой части разреза, пик 7,1–8,9 м (min 7,1 м, в среднем 8 м, max 8,9 м) в целом сопоставим с колебаниями угла наклона земной оси, отвечающими периоду около 41 000 лет.



**Рисунок 4.22 – AnalySeries анализ данных по магнитной восприимчивости нижнеэотических пород разреза Попов Камень (Таманский полуостров). Палеомагнитные данные по [Трубихин, Пилипенко, 2011]. К – магнитная восприимчивость пород**

При использовании частоты, соответствующей сигналу 7,1–8,9 м, обработка данных с помощью разложения Гаусса выявила значительное сходство в распределении сигналов, характеризующих изучаемые отложения с кривой колебаний инсоляции [Laskar et al., 2004] с 6,7 по 6,3 млн лет назад (рис. 4.23).



**Рисунок 4.23 – AnalySeries анализ данных по магнитной восприимчивости верхнемезозоических пород разреза Железный Рог (Таманский полуостров). Литологические типы пород: 1 – детритовый известняк; 2–4 – глины: 2 – алевритистые, 3 – алевритистые и известковые, 4 – диатомовые; 5 – диатомиты; 6 – глинистая брекчия; 7 – вулканический пепел; 8 – предполагаемые уровни размыва.  $K$  – магнитная восприимчивость пород. Палеомагнитные данные по Trubikhin in [Popov et al., 1996]**

### 4.3.3 Астрономическая цикличность изучаемых понтических отложений

В разрезе Железный Рог выделяются новороссийские слои нижнего понта, а также портаферские и босфорские слои верхнего понта. Портаферские слои отличаются своеобразным литологическим строением, выраженным в развитии среди выше- и нижележащих глин прослоев детритовых известняков и глинистой брекчии.

Установлено, что магнитная восприимчивость пород ( $K$ ) новороссийских слоев характеризуется значениями от 0,016 до  $0,937 \times 10^{-3}$  ед. СИ. Наиболее высокие показатели  $K$  (от 0,52 до  $0,937 \times 10^{-3}$  ед. СИ) отмечаются в верхней части этих отложений (на интервале от 65,8–62,0 до 59,2–51,6 м). Породам портафера свойственны значения  $K$  от 0,03 до  $0,19 \times 10^{-3}$  ед. СИ, босфора – от 0,05 до  $0,42 \times 10^{-3}$  ед. СИ.

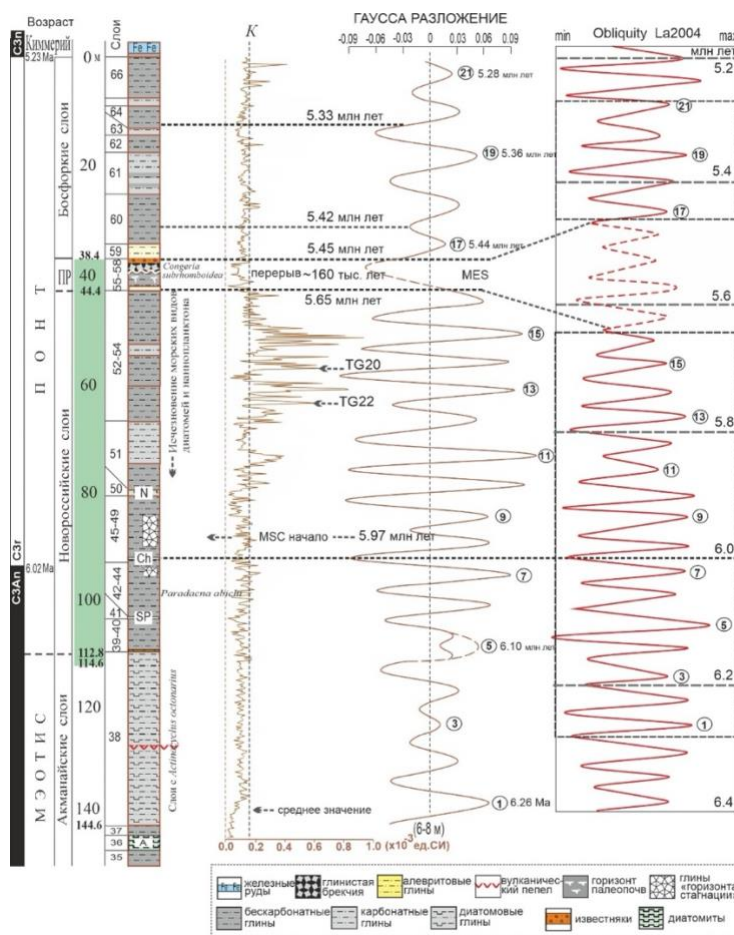
Спектральный анализ рядов данных магнитной восприимчивости пород портаферских слоев показал отсутствие в них отчетливой записи астрономической цикличности. Спектральный анализ рядов данных магнитной восприимчивости пород новороссийских и босфорских слоев показал наличие на Lomb-Scargle-периодограмме



пика с длиной цикла 59,7 м, а на REDFIT-периодограмме пиков с длиной циклов 59,7, 6,1, 3,1, 2,7 и 2,3 м, превышающих интервал спектральных шумов с 99% уровнем доверия и являющихся достоверными.

На основе анализа этих значений предполагается, что в отложениях понта присутствует запись астрономической цикличности, отражающая колебания эксцентриситета орбиты Земли (400 тыс. лет – цикл длиной 59,7 м), угла наклона земной оси (41 тыс. лет – цикл длиной 6,1 м) и прецессии (циклы длиной 3,1, 2,7 и 2,3 м) (рис. 4.24).

Результаты циклостратиграфических исследований позволяют оценивать существовавшие в прошлом скорости седиментации. Так, накопление переходных между мэотисом и понтом слоев происходило со скоростью около 16,3 см/1000 лет, отложений новороссия – 13,5 см/1000 лет, а босфора – 19,5 см/1000 лет.



**Рисунок 4.24 – AnalySeries анализ данных по магнитной восприимчивости пород понта разреза Железный Рог (Таманский полуостров). А, SP, Ch, N – прослой диатомитов (по [Radionova, Golovina, 2011]). Палеомагнитные данные по Trubikhin in [Popov et al., 1996]. Палеонтологические данные по [Popov et al., 2016]. Цифрами в кружках указаны номера циклов. ПР – портаферские слои, MSC – Мессинский кризис солёности, MES – Мессинская эрозионная поверхность, K – магнитная восприимчивость пород**



#### 4.3.4 Основные выводы

В результате исследования установлено, что астрономическая цикличность отражается в строении относительно глубоководных глинистых отложений конки, мэотиса и понта Восточного Паратетиса (опорные разрезы Таманского полуострова). В рассматриваемых отложениях мэотиса и понта периоду в 41 000 лет (изменение наклона угла оси Земли) могут соответствовать циклы длиной в 6–8 м, а периодам 19 000, 22 000 и 24 000 лет (прецессии) – циклы длиной около 3 и 4 м. В изучаемых конкских отложениях определение соответствия выявленного цикла длиной 3,3 м к тому или иному периоду астрономических колебаний инсоляции пока ещё остается дискуссионным из-за наличия при их накоплении резкой смены режимов седиментации, а также имеющихся трудностей стратиграфии этих толщ.

Скорости седиментации составляли в среднем в раннем мэотисе – 11–12 см/1000 лет, позднем мэотисе – 19 см/1000 лет, во время накопления переходных между мэотисом и понтом слоев – около 16,3 см/1000 лет, в раннем понте (новороссии) – 13,5 см/1000 лет, а в позднем понте (босфоре) – 19,5 см/1000 лет.

Полученные данные по циклостратиграфии подтверждают в большей степени представления о возрасте границ сармата/мэотиса около 7,6 Ма, нижнего/верхнего мэотиса около 6,7 Ма, мэотиса/понта около 6,1–6,03 Ма, понта/киммерия около 5,2 Ма. Нижняя и верхняя границы портаферских слоев датируются около 5,65 и 5,45 млн лет соответственно.

#### 4.4 Сейсмические сети и каталоги землетрясений: обзор

Выполнен обзор функционирующих в настоящее время сейсмологических агентств, создаваемых, развиваемых и поддерживаемых ими сейсмических мониторинговых сетей, а также подготавливаемых каталогов землетрясений. Особое внимание было сфокусировано на международных и национальных сейсмологических центрах и сейсмических сетях.

На сегодняшний день самым крупным сейсмологическим центром является IRIS – консорциум из более чем 125 университетов США, занимающихся исследованиями в области сейсмического мониторинга и распространения сейсмологических данных. В IRIS поступают данные с более 8 тыс. сейсмических станций из всех стран мира.



Говоря о наиболее известных мировых сейсмических сетях необходимо в первую очередь упомянуть сети американской Геологической службы USGS (The United States Geological Survey). Так, в ее состав входят: Глобальная сейсмографическая сеть GSN (Global Seismographic Network), Передовая национальная сейсмическая система ANSS (Advanced National Seismic System) и Национальный центр информации о землетрясениях NEIC (The National Earthquake Information Center). Необходимо также отметить европейскую сеть (EMSC – ORFEUS), французскую глобальную сеть широкополосных сейсмологических станций GEOSCOPE (French Global Network of Seismological Broadband Stations), сеть японского метеорологического агентства JMA (Japan Meteorological Agency), китайский центр сейсмических сетей CENC (China Earthquake Networks Center), сеть Единой геофизической службы Российской академии наук (ФИЦ ЕГС РАН), а также сеть Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний CTBTO (The Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization).

Кроме регулярных сейсмических сетей существуют еще сейсмологические агентства и проекты, которые, не обладая собственными сетями, фактически агрегируют и обрабатывают данные других сетей и создают соответствующие каталоги и бюллетени. К перечню таковых необходимо отнести Международный сейсмологический центр (ISC, International Seismological Centre), The Global Centroid-Moment-Tensor (GCMT), SCARDEC и др.

Качество каталога землетрясений зависит от целого ряда таких функциональных характеристик регистрирующей сети и различных параметров как особенности регистрирующего оборудования, апертура сейсмической сети, процедуры локации (в том числе, скоростная модель) и определения магнитуд (в том числе, модель затухания сейсмических волн) и др. Все это, включая неоднородность времени регистрации сейсмических сетей, является причиной наблюдаемых отличий в данных о землетрясениях, представленных в различных каталогах.

Одной из центральных характеристик сейсмических каталогов является магнитуда представительной регистрации  $M_c$ . Она является и ключевым параметром, отражающим эффективность сейсмической сети, т. е. ее регистрирующих возможностей. Магнитуда  $M_c$  представляет собой минимальную магнитуду, выше которой надежно регистрируются все землетрясения для заданной пространственно-временной области. Для анализа каталога строят график повторяемости





землетрясений. На нем значение  $M_c$  будет соответствовать началу его линейной части. По наклону графика повторяемости ( $b$ -value) делается вывод об уровне сейсмичности региона. Чем больше значение параметра  $b$ , тем больше пропорция землетрясений малых магнитуд относительно больших.

Другой (пожалуй, самой проблемной) важнейшей характеристикой каталогов землетрясений является шкала магнитуд. Она различается в зависимости от того, какой вид сейсмической волны используется для ее расчета.

История инструментальных сейсмологических наблюдений насчитывает уже более века. За это время количество сейсмических станций во всем мире выросло до нескольких десятков тысяч. От первых сейсмологов, создающих и развивающих мониторинговые сети, сейсмология пришла к сотням международных, национальных и региональных сейсмологических агентств и центров. Однако, на фоне такого бурного и стремительного развития все еще остается актуальной и не до конца разрешенной задача создания для конкретного сейсмоактивного региона наиболее полного представительного каталога землетрясений с однородной магнитудной шкалой. Таким образом, каждый исследователь, нуждающийся в каталоге землетрясений, как правило, вынужден самостоятельно формировать таковой, отвечающий, необходимым для решения его задач, критериям качества и достоверности данных.

#### **4.5 Оценка многообразия параметров, генерируемых обогатительной фабрикой, с точки зрения Больших данных**

Современная обогатительная фабрика (ОФ) – это производство, формирующее потоки продукции и одновременно потоки информации от оборудования и датчиков. Работа с такими данными дает возможность оценивать и управлять процессом на качественно другом уровне. Обогащение полезных ископаемых является неотъемлемой частью наук о Земле. Производственные процессы обогатительной фабрики основываются на физико-химических свойствах горных пород, позволяя разделять их, концентрируя ценные вещества.

В рамках темы НИР проведена оценка параметров, генерируемых обогатительной фабрикой по обогащению углей, с точки зрения их принадлежности к Большим данным. В качестве объекта исследования принята фабрика по обогащению угля. С одной стороны, такие фабрики имеют более типовой в сравнении с рудными



набор оборудования, реализующий обогатительные процессы. С другой стороны, количество таких фабрик растет ежегодно благодаря востребованности угольной продукции.

По предварительным расчётам на фабрике по обогащению углей потенциально может быть установлено от 500 приборов, которые квазинепрерывно передают значения более чем 5 000 параметров. При расчете на 1 байт информации, с учетом привязки каждого параметра ко времени, и частоте передачи информации один раз в секунду, получим как минимум 1 ГБ разнообразных первичных данных в день (расчет проведен для сырых данных). В действительности частота передачи данных на многих приборах выше, а длина переданного символа больше. Управление таким объемом информации невозможно вести в ручном режиме, поэтому в работу ОФ широко внедрены различные информационные системы. Широкое применение получили системы диспетчерского управления и сбора данных SCADA и система управления производством MES. По оценке Института комплексного освоения недр РАН, объем данных, генерируемых SCADA- и MES-системами, составляет 50–100 ТБ в год на текущий момент [Захаров и др., 2021]. При повышении уровня цифровизации эти значения существенно возрастут. Приведенные выше описания многообразия параметров и расчеты их объема в полной мере удовлетворяют параметрам 3V, совокупность которых является одним из определений понятия Большие данные (Бод) [Гвишиани и др., 2023].

Учитывая темпы роста объемов информации классические инструменты их обработки не позволяют использовать весь потенциал потока данных. Складывается ситуация, когда данные просто хранятся в архивах или удаляются с серверов через заданное количество времени. Такой подход снижает темпы цифровой трансформации и не дает возможности использовать ее преимущества. Общим мировым трендом стало использование на практике технологий Бод. Внедрение такого подхода позволит организовать горизонтально масштабируемое хранилище данных, на основе анализа которых можно проводить проверку гипотез, выявлять новые закономерности, проводить ретроспективный анализ и пр.

Реализация проектов создания, хранения и использования Бод ОФ невозможна одномоментно. Этот процесс разворачивается во времени. Необходима всесторонняя подготовка, как с научной и технической, так и с управленческой стороны.

#### 4.6 Актуализация базы данных спутниковой альтиметрии. Исследование особенностей гидрологического режима Каспийского моря. Разработка регионального алгоритма поправки на состояние подстилающей поверхности для Черного моря

##### 4.6.1. Актуализация базы данных спутниковой альтиметрии

В 2023 г. осуществлена запись данных спутников Jason-3, SARAL/AltiKa и Sentinel-3B в исходном формате и переформатирование в формат Интегрированной Базы Данных Спутниковой Альтиметрии (ИБДСА).

##### 4.6.2 Анализ пространственной неоднородности климатических и сезонных изменений уровня Каспийского моря

Межгодовые изменения уровня Каспийского моря по данным инструментальных измерений (с 1837 г.) и спутниковых альтиметров (с 1993 г.) в разные временные периоды рассматривались во многих работах. Представление об изменении уровня Каспия по данным альтиметрических измерений с 1993 по 2020 гг. даёт рис. 4.25.

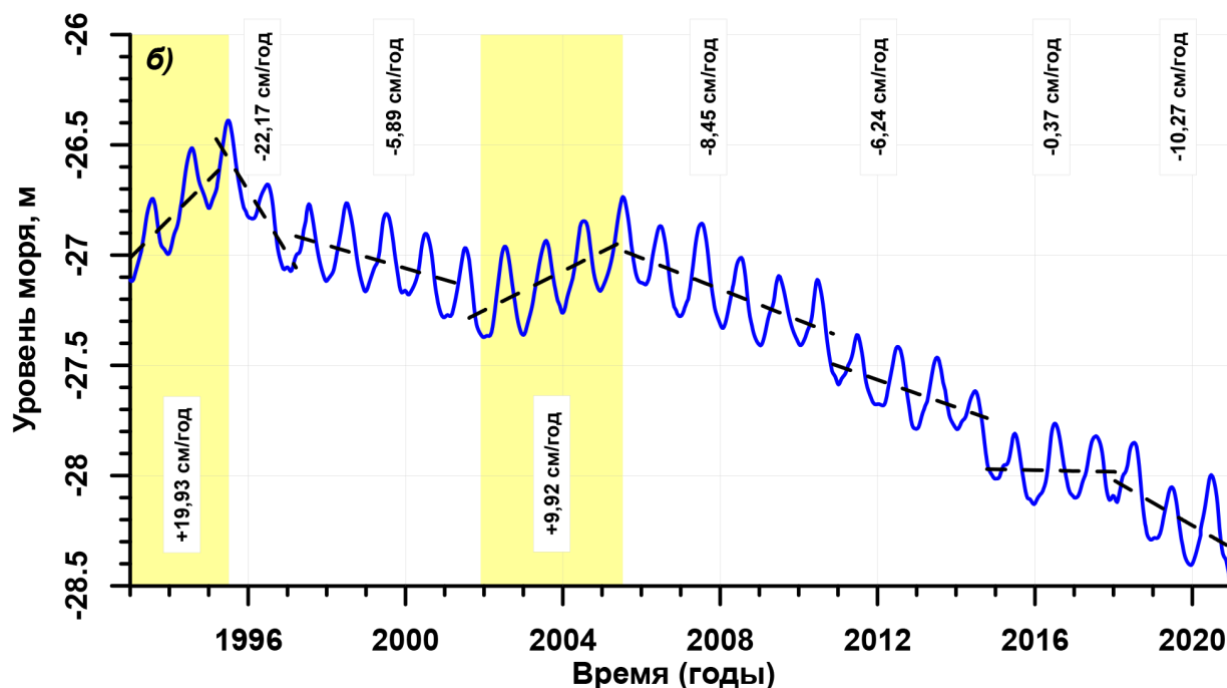


Рисунок 4.25– Сезонная (сплошная линия) и межгодовая (пунктир) изменчивость уровня Каспийского моря (м) с января 1993 г. по декабрь 2020 г. по данным альтиметрических измерений спутников TOPEX/Poseidon (T/P) и Jason-1/2/3 (J1/2/3)



За исключением двух периодов подъёма уровня – с зимы 1992/1993 гг. до лета 1995 г. со скоростью  $+19,93 \pm 2,14$  см/год до отметки  $-26,4$  м БС и с зимы 2001/2002 гг. до лета 2005 г. со скоростью  $+9,92$  см/год до отметки  $-26,7$  м БС – и его относительной стабилизации в 2015–2017 гг. (слабый отрицательный тренд –  $0,37 \pm 0,12$  см/год), уровень Каспия падал (рис. 4.25). Падение уровня после лета 2005 г. не было монотонным: резкое уменьшение уровня имело место в конце 2010 – начале 2011 гг. в связи с засухой в европейской части России, включая бассейн р. Волги, в конце июня – августе 2010 г. [Arpe et al., 2012], в конце 2014 г. и в конце 2018 г. Средняя скорость падения уровня в 28-летний период 1993–2020 гг. составила  $-5,37 \pm 1,24$  см/год. К концу 2020 г. уровень достиг отметки  $-28,5$  м БС. Таким образом, с максимального значения в рассматриваемый период в 1995 г. ( $-26,6$  м БС) до минимального в 2020 г. ( $-28,5$  м БС) уровень упал на 1,9 м, и от минимума 1977 г. ( $-29$  м БС) его отделяет всего лишь 0,5 м.

Климатические изменения уровня Каспийского моря неравномерны по пространству (рис. 4.26, 4.27). В период с 1993 по 1995 гг. максимальная скорость подъёма уровня Каспийского моря более 20 см/год наблюдалась в районе Дербентской и Ленкоранской впадин (рис. 4.27а), а также в районе восточной части Апшеронского порога. В восточной части Северного Каспия восточнее Уральской бороздины скорость подъёма уровня в среднем составила  $+6$  –  $+14$  см/год, а в западной части дельты реки Волга и у побережья Калмыкии и Дагестана – более  $+18$  см/год. Вдоль побережья Ирана и южного побережья Азербайджана скорость роста не превысила  $+2$  –  $+12$  см/год (рис. 4.26а).

В период резкого падения уровня Каспия (1995–1997 гг.) максимальная скорость более  $-22$  см/год также наблюдалась в районе Дербентской и Ленкоранской впадин (рис. 4.26б), восточной части Апшеронского порога и вдоль восточного побережья, отделяющего море от залива Кара-Богаз-Гол. Вдоль побережья Ирана и южной части побережья Азербайджана скорость падения не превысила  $-2$  –  $-10$  см/год. Невысокие скорости снижений уровня моря наблюдались и у восточного побережья Северного Каспия ( $-4$  –  $-10$  см/год) (рис. 4.26б).

Для следующего временного интервала 1997–2001 гг., характеризующегося умеренным падением уровня Каспийского моря, пространственная неоднородность скорости изменения уровня показана на рисунке 4.26в. Скорость более  $-8$  см/год



наблюдается в северной части Апшеронского порога, а также вдоль всего побережья Апшеронского п-ова. В восточной части Апшеронского порога скорость падения не превысила величину  $-4 - -5$  см/год. Аналогичная скорость наблюдалась в Северном Каспии и вдоль южной части побережья Азербайджана. Минимального значения (менее  $-3$  см/год) она достигла в Туркменском и Красноводском заливах (рис. 4.26в).

Следующий период умеренного роста уровня Каспийского моря (2001–2005 гг.) (рис. 4.26г) характеризуется скоростью подъема уровня более  $+12$  см/год в районе Ленкоранской впадины и в северо-восточной части Среднего Каспия севернее Апшеронского порога. Большие скорости роста ( $+9 - +10$  см/год) наблюдаются также в западной части Северного Каспия, прилегающей к дельте реки Волга, и в его восточной части. Вдоль побережья Азербайджана, Ирана и Туркменистана ее величина не превысила  $+7 - +8,5$  см/год.

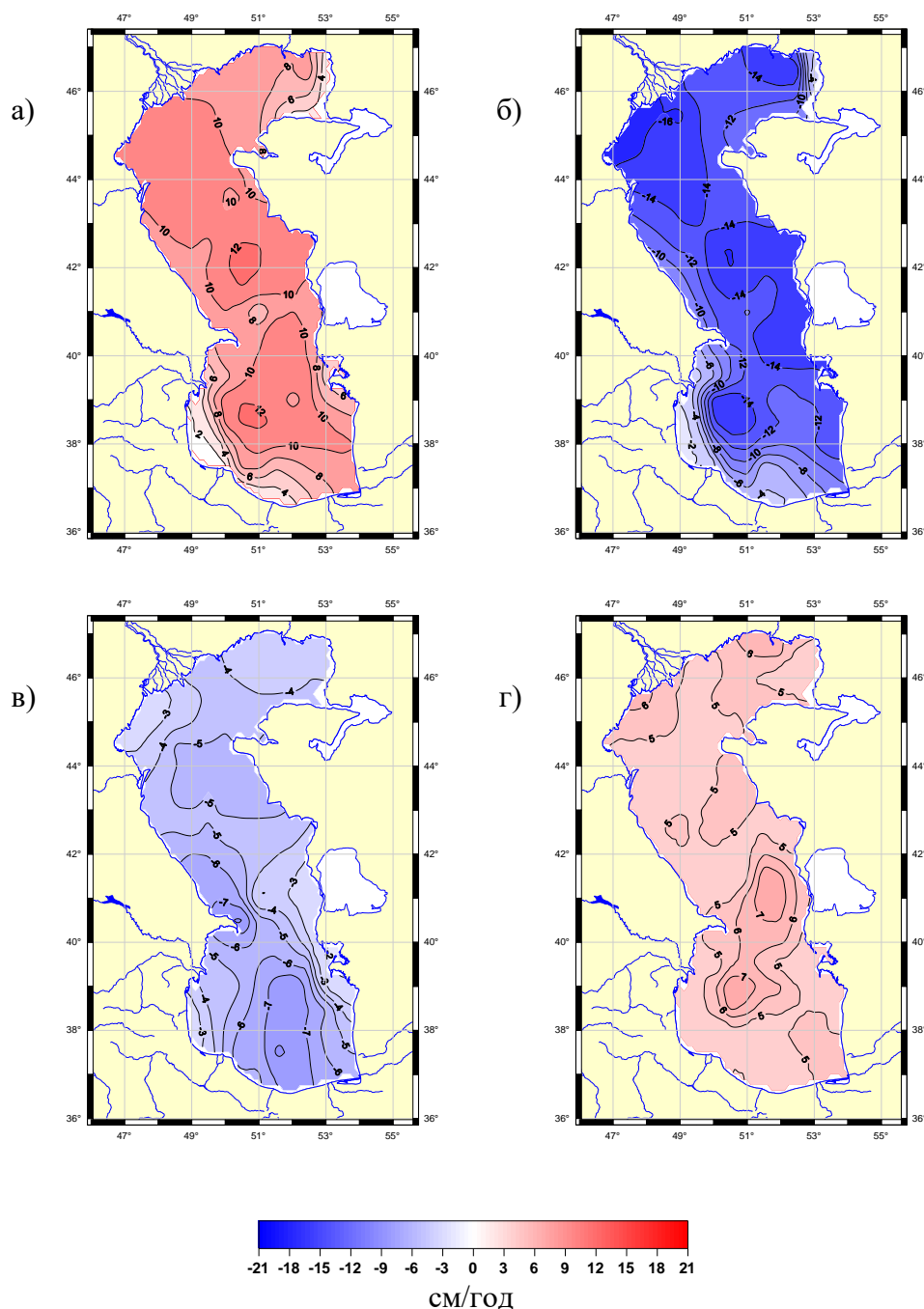
Наблюдающееся с 2006 по 2009 гг. умеренное падение уровня Каспия (рис. 4.27а) также имеет неравномерное распределение величины скорости падения уровня моря. Максимальных значений (более  $-9$  см/год) она достигает в Южном Каспии (на свале глубин более 700 м, юго-восточнее Апшеронского порога и западнее центральной части побережья Туркменистана) и в Северном Каспии в районе западной части дельты реки Волга и севернее Мангышлакского залива. В центральной части моря скорость падения уровня лежит в интервале от  $-7$  до  $-8,5$  см/год. По сравнению с предыдущими периодами падения уровня (1995–2001 гг.) скорость падения уровня вдоль побережья Ирана максимальна и составляет величину  $-7 - -9$  см/год (рис. 4.27а).

С 2009 по 2015 гг. наблюдается сильное падение уровня Каспия (рис. 4.27б). Максимальных значений (более  $-14$  см/год) оно достигает в Северном Каспии. Минимальное значение (менее  $-9$  см/год) наблюдается в северной части моря в Кизлярском заливе и в южной части вдоль южного побережья Азербайджана. В Среднем Каспии уровень падает в среднем со скоростью  $-11$  см/год. Локальный минимум (менее  $-10$  см/год) наблюдается на границе Северного и Южного Каспия вокруг Апшеронского п-ова. В Южном Каспии уровень падает со скоростью от  $-9$  до  $-12$  см/год (рис. 4.27б).





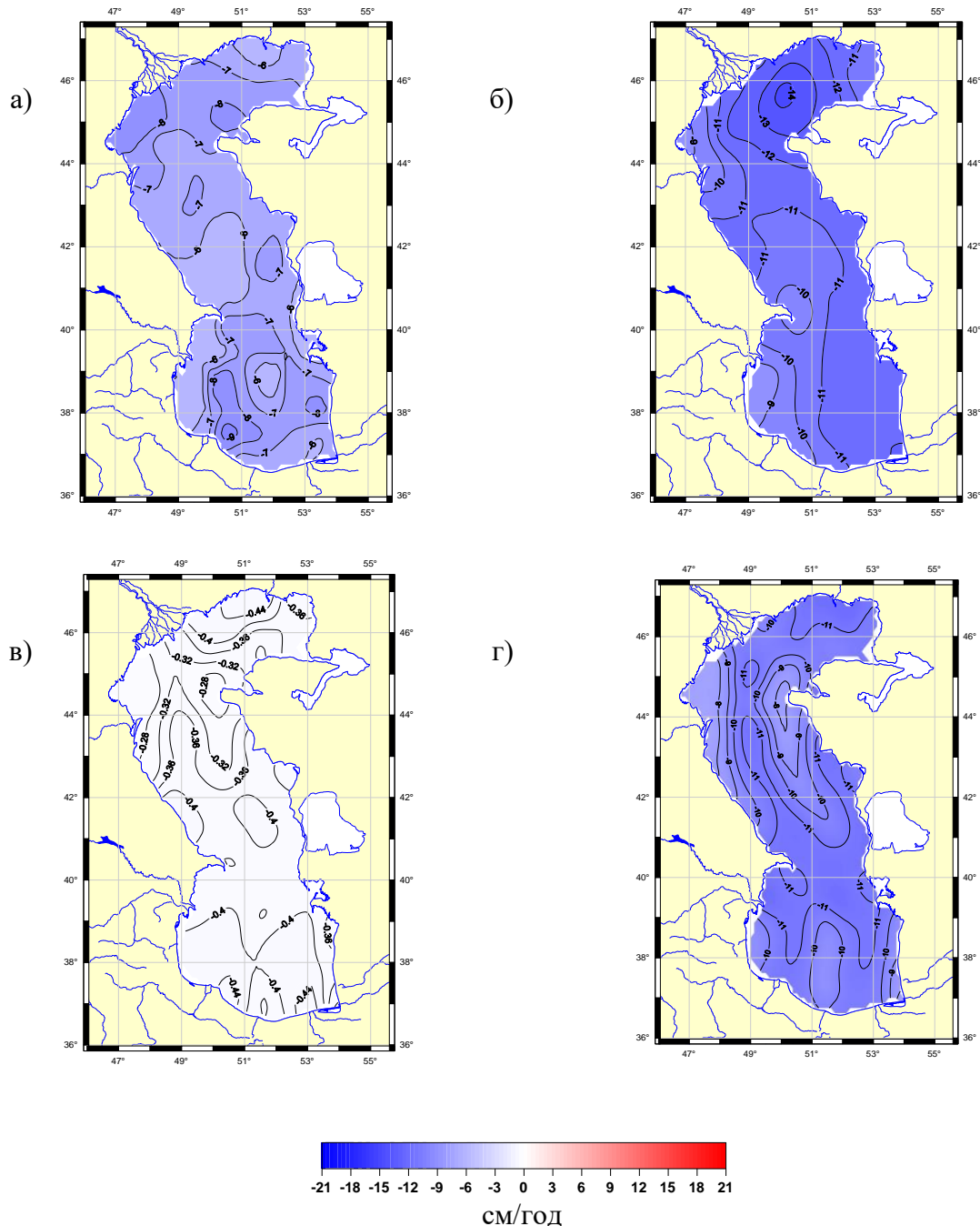
Период стабилизации уровня моря наблюдался с 2015 по 2018 гг. (рис. 4.27в). Максимальная скорость падения уровня  $-0,44$  см/год наблюдается между дельтами рек Волга и Урал, а также у иранского побережья. Минимальная скорость  $-0,28$  см/год вдоль побережья от дельты реки Волги и Махачкалы. В целом минимальные значения от  $-0,28$  см/год до  $-0,36$  см/год наблюдаются в районе границы между Средним и Северным Каспием (рис. 4.27в).



**Рисунок 4.26 – Карта межгодовой изменчивости уровня Каспийского моря (см/год) для периодов времени: (а) – сильное повышение (1993–1995 гг.), (б) – сильное падение (1995–1997 гг.), (в) – медленное падение (1997–2001 гг.), (г) – медленное повышение (2001–2005 гг.)**



После периода стабилизации начиная с 2018 г. по настоящее время уровень моря падает со средней скоростью  $-10,27$  см/год. Максимальные скорости падения уровня более  $-10,27$  см/год наблюдаются в Южном и Среднем Каспии (рис. 4.27г). Минимальная скорость  $-8,0$  см/год опять локализуется в районе вдоль побережья от дельты реки Волги и Махачкалы и в районе п-ова Тюр-Караган.



**Рисунок 4.27 – Карта межгодовой изменчивости уровня Каспийского моря (см/год) для периодов времени: (а) – медленное падение (2005–2009 гг.), (б) – сильное падение (2009–2015 гг.), (в) – состояние стабильности (2015–2018 гг.), (г) – сильное падение (2018–2020 гг.)**



#### **4.6.3 Расчёт систематической ошибки в альтиметрических измерениях ряда спутников для акватории Каспийского моря**

Объединение данных спутников Т/Р и J1/2/3 в единый ряд альтиметрических измерений требует проведения анализа данных за временной интервал работы спутников в режиме тандема. Такой режим работы предполагал, что спутники имеют одинаковые параметры орбиты, треки спутников совпадают, а разница по времени в пролете одного спутника за другим минимальна. Для спутников J1 и Т/Р, J1 и J2 и спутников J2 и J3 эта разница в среднем 70 с.

Спутники Т/Р (344–364 циклы) и J1 (1–21 циклы) работали в тандеме с января по август 2002 г., спутники J1 (239–259 циклы) и J2 (0–20 циклы) – с августа 2008 г. по январь 2009 г., спутники J2 (280–303 циклы) и J3 (0–23 циклы) – с февраля 2016 г. по октябрь 2016 г.

Систематическая ошибка между альтиметрическими измерениями высоты морской поверхности (ВМП) спутниками Т/Р и J1 для Мирового океана в среднем составила 3 см. В тропических широтах она составила 2 см, а в умеренных широтах – 4 см [Ponte et al., 2007]. Для Каспийского моря анализ показал, что измерения ВМП, проводимые альтиметром спутника J1, превышают измерения спутника Т/Р в среднем на  $9,19 \pm 1,48$  см. Коэффициент корреляции между данными составил 0,990.

Для Мирового океана систематическая ошибка между альтиметрическими измерениями ВМП спутниками J1 и J2 в среднем составила 17 см [Dumont et al., 2011]. Измерения ВМП, проводимые альтиметром спутника J1, на акватории Каспийского моря превышают измерения спутника J2 в среднем на  $8,85 \pm 0,84$  см, а коэффициент корреляции между данными составляет 0,999.

Разница между измерениями спутников J2 и J3 в период работы в режиме тандема составила  $-9,05 \pm 0,54$  см.

#### **4.6.4 Разработка регионального алгоритма поправки на состояние подстилающей поверхности для Черного моря**

Состояние подстилающей поверхности всегда оказывает влияние на радиолокационные измерения с большой зоной покрытия. Элементы отражающей поверхности по-разному отражают сигнал альтиметра: впадины волн имеют тенденцию отражать импульсы высотомера лучше, чем гребни. Таким образом, центр тяжести средней отражающей поверхности смещён от среднего уровня моря к впадинам волн. Сдвиг, называемый электромагнитным смещением (ЭМ),



представляет собой разницу между средней высотой отражающих граней морской поверхности и средней высотой уровня моря. Этот сдвиг приводит к увеличению дальности, что влечет необходимость расчёта поправки на состояние подстилающей поверхности –  $dh_{ssb}$  (Sea State Bias – SSB). Наблюдения и теория показывают, что данная поправка пропорциональна значимой высоте волны (Significant Wave Height, SWH). Типичные значения ЭМ смещения составляют от  $-1$  до  $-4\%$  от SWH.

Одна из задач спутниковой альтиметрии состоит в уменьшении влияния  $dh_{ssb}$  на результаты обработки альтиметрических данных, за счет улучшения алгоритмов обработки, и нахождения оптимальных коэффициентов модели  $dh_{ssb}$ , для используемого альтиметра.

При обработке альтиметрических измерений российских спутников использовалась четырёхпараметрическая модель, формула которой имеет вид:

$$dh_{ssb} = a_0 + h_{swh} (a_1 + a_2 h_{swh} + a_3 U + a_4 U^2),$$

где  $a_0 - a_4$  – коэффициенты модели,  $dh_{ssb}$ ,  $h_{swh}$  – значимая высота волны,  $U$  – скорость ветра.

Расчёт коэффициентов проводился по двум методикам: (1) Значения высот морской поверхности, значимые высоты волн и скорость ветра брались в точках пересечения восходящих и нисходящих треков. (2) Эти же значения берутся в точках на треке в разных циклах изомаршрутной программы. Вторая методика для акватории Черного моря позволяет увеличить число измерений для расчёта коэффициентов. Результаты расчётов по обеим методикам представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Значения коэффициентов параметрической модели поправки на состояние подстилающей поверхности для Чёрного моря

Методика расчета	По точкам пересечения			По точкам вдоль треков изомаршрутной программы		
	2018	2019	2018–2019	2018	2019	2018–2019
Временной интервал						
$a_0$	0,02581	0,08109	0,05208	0,08064	-0,00763	0,07120
$a_1$	0,03785	-0,20239	-0,01144	-0,12543	-0,06024	-0,08921
$a_2$	-0,03065	0,03926	-0,01979	0,01009	0,00690	0,00322
$a_3$	-0,00840	-0,09299	-0,02091	-0,00347	-0,00455	-0,00054
$a_4$	0,00032	0,00540	0,00089	0,00018	0,00031	0,00004

Сравнение этих двух подходов показало, что, несмотря на различие подходов, средняя разность поправки  $dh_{ssb}$  находится на уровне 2 см.

#### 4.7 Модернизация инфраструктуры ГИС для представления и анализа данных по наукам о Земле

В основе ГИС-инфраструктуры, разрабатываемой в ГЦ РАН, лежит стандартный клиент-серверный подход, подразумевающий использование трех основных сегментов: сервера базы данных для хранения геопространственной информации, сервера ГИС для размещения картографических инструментов и сервисов геообработки, а также веб-сервера для поддержки сетевых клиентских приложений [Соловьёв и др., 2018].

В связи с невозможностью дальнейшей эксплуатации иностранной программной платформы ESRI ArcGIS было принято решение осуществить переход на новую ГИС-платформу, в качестве которой было выбрано отечественное решение NextGIS. Это современная универсальная ГИС-платформа для работы с геоданными разных типов. Она включает в себя набор настольных и серверных программных инструментов для решения широкого спектра задач в области геоинформатики, цифровой картографии и геофизики.

В программной среде NextGIS было выполнено преобразование слоев геоданных, ранее оформленных в среде ESRI ArcGIS в рамках предыдущих исследований. Имеющиеся исходные растровые и векторные данные были импортированы в новую ГИС-среду и оформлены согласно соответствующей тематике. Пример отображения оформленной тематической карты в среде NextGIS представлен на рисунке 4.28. Далее оформленные данные были загружены в программный модуль NextGIS Web для публикации преобразованных карт в формате картографических сервисов или веб-карт.

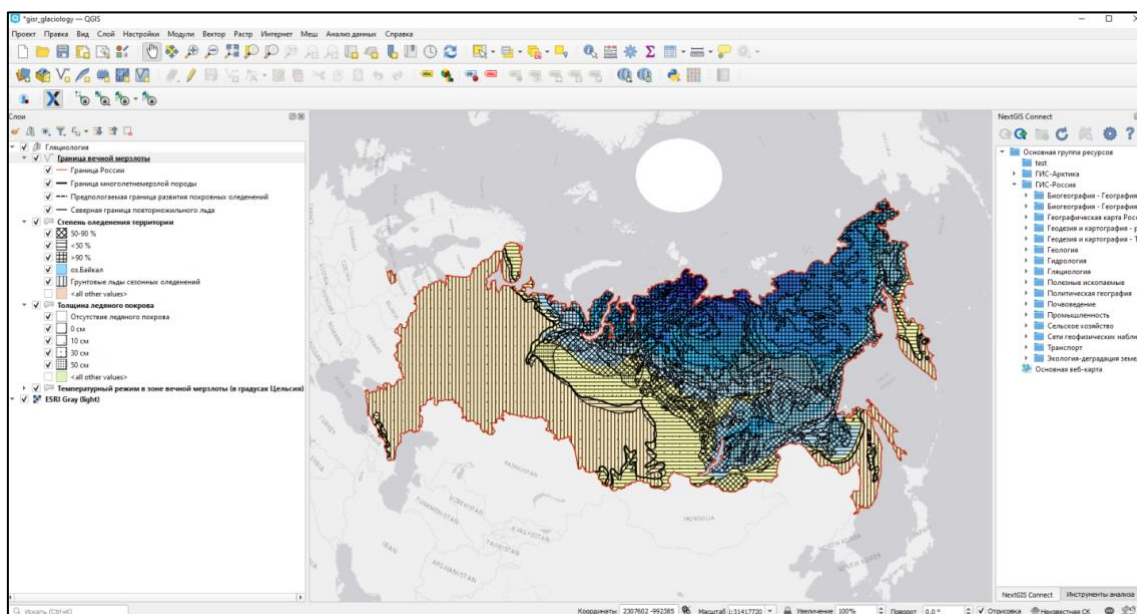
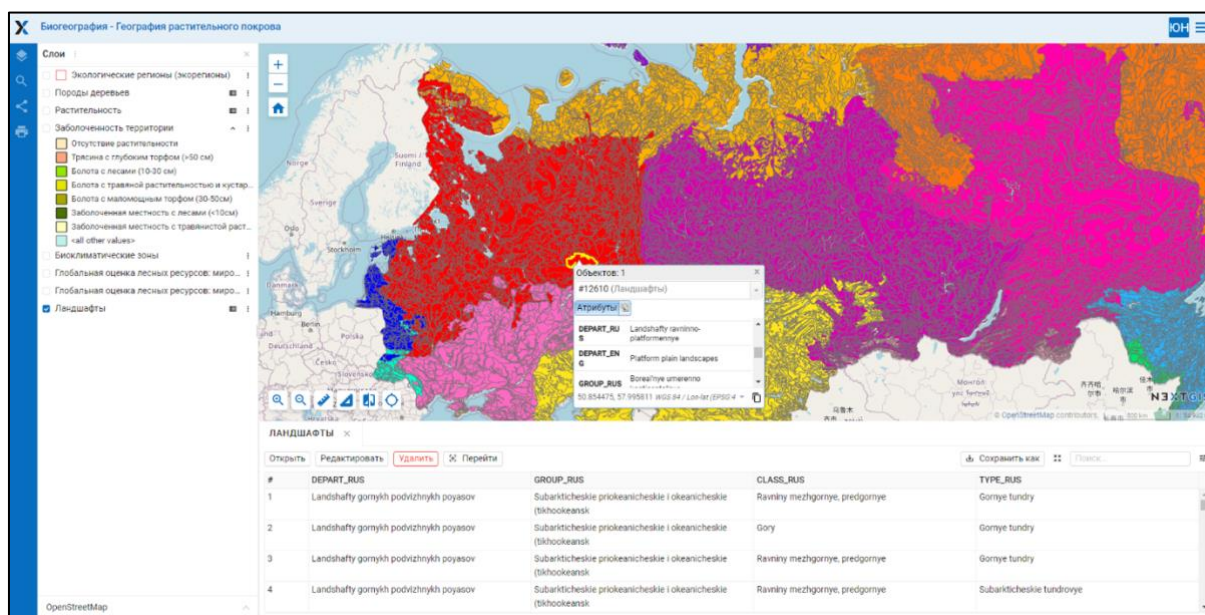


Рисунок 4.28 – Тематическая карта «Гляциология» из базы данных «ГИС – Россия» в среде NextGIS QGIS. Оформление карты унаследовано от ГИС-проекта в среде ESRI ArcGIS



Один из примеров отображения готовой веб-карты в специальном веб-клиенте NextGIS представлен на рисунке 4.29. Для каждого векторного и некоторых растровых слоёв доступно отображение соответствующей легенды в окне «Слои». Для векторных данных также доступен просмотр атрибутивной информации элементов по клику на карте или в таблице атрибутов. Пользователям доступны инструменты масштабирования, измерения расстояния и площади; текущих координат курсора; вертикальной шторки, позволяющей сделать правую сторону отображаемой карты прозрачной и др.



**Рисунок 4.29 – Пример отображения веб-карты «Биография – География растительного покрова» в среде NextGIS Web**

## **4.8 Редакционно-издательская деятельность**

### **4.8.1. Редакционно-издательская подготовка материалов для публикации в изданиях ГЦ РАН**

Геофизический центр РАН (ГЦ 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>)).

Сериальное электронное издание «Исследования по геоинформатике. Труды ГЦ РАН» учреждено Геофизическим центром РАН в 2018 г. для публикации



научных статей, тематика которых связана с информационными технологиями, внедренными в науки о Земле, научных отчетов, тезисов конференций, технических документаций и т. д. Основная цель этого издания – предоставить научному сообществу наиболее важные научные результаты, полученные российскими учеными. Статьи, поступающие в журнал, проходят стандартное рецензирование, за исключением статей, представленных членами РАН. Все статьи проходят редакционную обработку и публикуются с использованием самых современных технологий электронного издательства, включая мультимедийный и интерактивный контент.

Научно-информационный журнал «**Вестник Отделения наук о Земле РАН**» издается в формате электронного мультимедийного журнала с сентября 2009 г. Новости в нем обновляются ежедневно. 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, исторические очерки и пр. Журнал имеет несколько рубрик: «Спецпроект “Арктика”», «Исторический факт», «Вокруг Света» и др. В 2023 г. появилась рубрика «Отделение наук о Земле», которая делится на два раздела «История Отделения наук о Земле РАН» – данная рубрика даёт возможность читателям журнала получить историческую справку об Отделении начиная с 1927 г. до наших дней, и «Галерея академиков-секретарей Отделения наук о Земле РАН» – предоставляющая сведения о выдающихся ученых-исследователях, которые всегда стояли во главе научного сообщества, изучающего науки о Земле.

Кроме новостных материалов журнал публикует научные статьи, которые регистрируются в Crossref и получают номер DOI, статьи также индексируются в РИНЦ. Статьи, представленные в журнал, проходят через стандартный процесс экспертной оценки, за исключением статей, представленных членами РАН. Все статьи проходят редакционную обработку.

Журнал «**Russian Journal of Earth Sciences**» (RJES) издается с 1998 г. 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. Все статьи, опубликованные в журнале, имеют идентификаторы DOI и EDN.

Главным редактором журнала RJES с 2017 г. является академик РАН А. Д. Гвишиани. В 2023 г. в составе редакционной коллегии журнала произошли изменения. Редакторами по направлениям стали: академик РАН И. А. Шерemet – системный анализ и большие данные, к.г.-м.н. В. А. Зайцев – геохимия. Членами редколлегии стали: чл.-корр. РАН А. Л. Верещака и д.г.-м.н. Ю. В. Ростовцева.

Решение о принятии статьи к публикации принимается 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 удаётся 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 с учётом Индикатора SCImago (SJR) (табл. 4.3).

Таблица 4.3 – Изменение основных показателей журнала RJES в Scopus и SCImago (SJR) в 2019–2023 гг.

Показатель	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г. *
<b>Q3 квантиль</b>	35 процентиль	35 процентиль	42 процентиль	46 процентиль	49 процентиль
<b>CiteScore</b>	0,8	1	1,6	2,0	2,0 CiteScoreTacker
<b>SNIP</b>	0,793	0,689	0,724	0,754	–
<b>SJR</b>	0,288	0,303	0,333	0,351	–
<b>H-index</b>	17	17	19	20	20

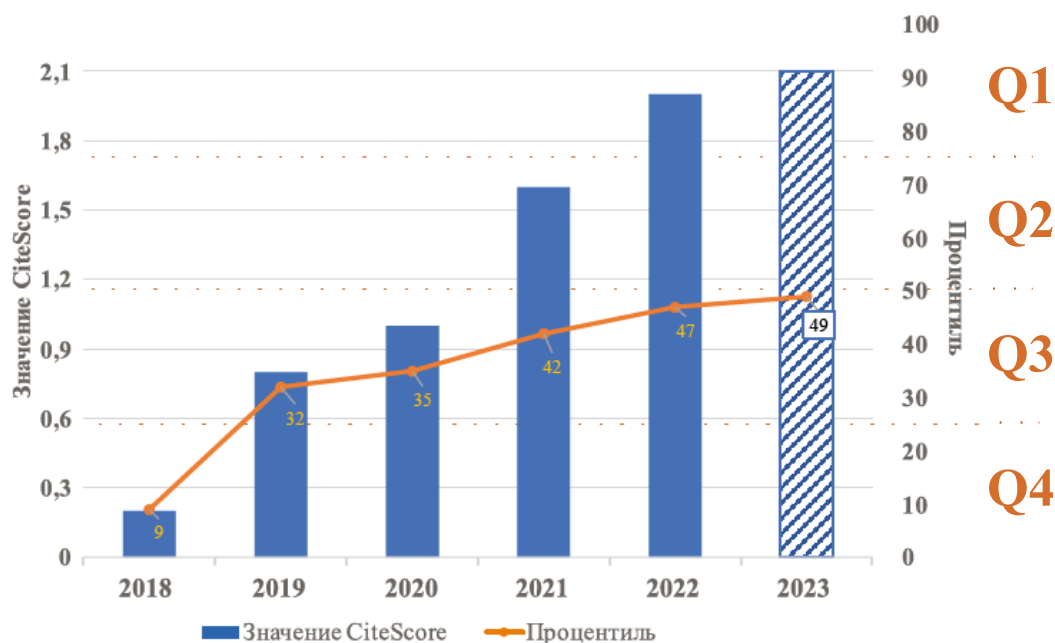
\* – предварительный расчет



На рисунке 4.30 показан 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», показатели за 2023 г. приведены в предварительном виде, т. к. окончательные будут рассчитаны в 2024 г.

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. В 2023 г. рейтинг журнала в РИНЦ возрос (в скобках указан показатель за предыдущий год):

- 174 (313) место из 3 955 изданий в общем рейтинге SCIENCE INDEX;
- 5 (8) процентиля в рейтинге SCIENCE INDEX;
- 12 (24) место из 90 изданий в рейтинге SCIENCE INDEX по тематике «Геология»;
- 15 (16) место из 57 изданий в рейтинге SCIENCE INDEX по тематике «Геофизика». Пятилетний импакт-фактор по ядру РИНЦ – 0,81.



**Рисунок 4.30 – График роста показателя CiteScore базы Scopus для RJES (данные для 2023 г. предварительные)**

В 2023 г. в «Russian Journal of Earth Sciences» наряду с текущими статьями был опубликован специальный выпуск «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии», который был посвящён VII Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты



геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий». Конференция проходила в 2023 г. в Майкопском государственном технологическом университете (г. Майкоп, Республика Адыгея). Научный форум традиционно проводится раз в два года и представляет большой интерес для научного сообщества. Сотрудники Геофизического центра РАН принимали участие в конференции. В ходе конференции было заслушано 62 пленарных и секционных доклада. В спецвыпуске было отобрано 18 статей участников конференции.

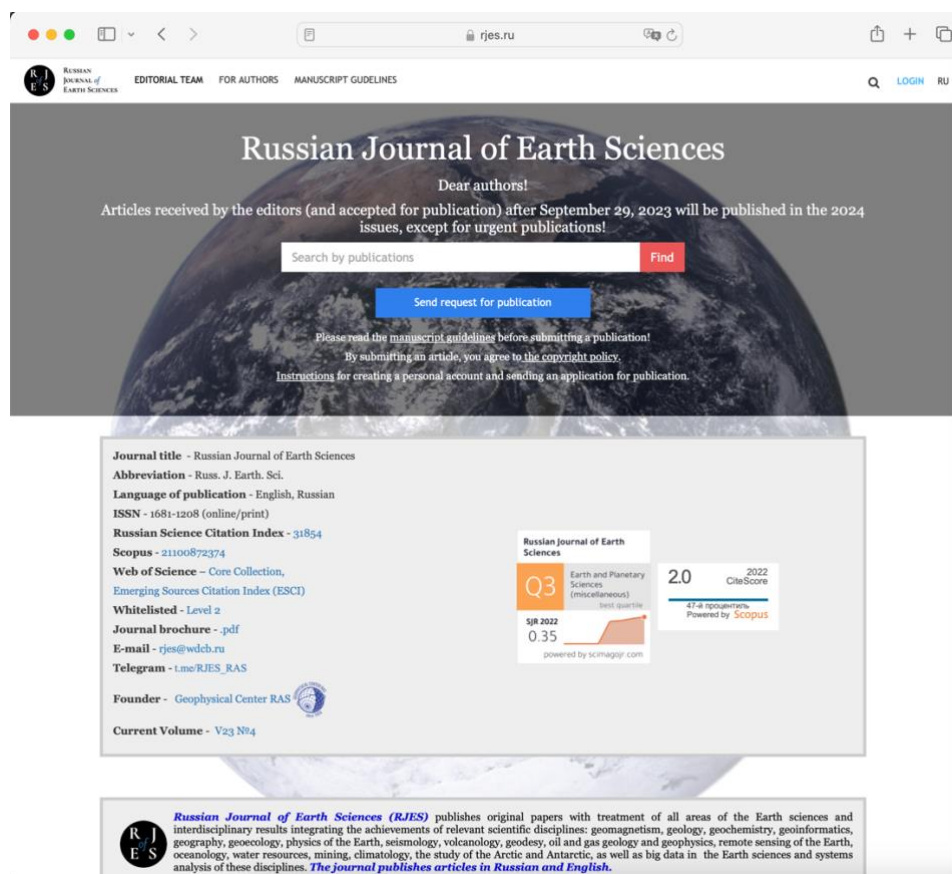
По итогам 2023 г. опубликовано 6 выпусков 23-го тома журнала «RJES», общее количество статей в журнале – 70, в том числе в спецвыпуске – 18; в журнале «Вестник ОНЗ РАН» – 358 новостных сообщений и 2 научные статьи; в сериальном издании «Исследования по геоинформатике. Труды ГЦ РАН» – 1 отчет.

#### **4.8.2 Практическая работа с издательской платформой Эдиторум**

В 2021–2022 гг. была произведена установка российской издательской платформы мирового уровня для онлайн работы научных журналов и издательств Эдиторум. Платформа доказала свою эффективность она существенно облегчает подготовку публикаций и метаданных в соответствие с мировыми стандартами и требованиями РИНЦ, Scopus и Web of Science. В 2023 г. по результатам практической работы с платформой за предыдущие годы, а также учитывая пожелания пользователей (редакторов, рецензентов, авторов и др.), был улучшен веб-сайт журнала, в результате журнал получил новый сайт (<https://rjes.ru/en/nauka/>), который стал более «дружественным» к конечному пользователю, обновился дизайн, упростилась навигация и пр. (рис. 4.31).

Также в 2023 г. шаблон RJES RA-style 1.0 в формате издательской системы LaTeX был полностью переработан в результате чего были созданы шаблон и стилевой файл классов для него. Оба они являются системой макрокоманд LaTeX2e для подготовки исследовательских статей на английском языке в журнал «RJES». В итоге две программы для ЭВМ зарегистрированы в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (свидетельства о государственной регистрации № 2023686219 и № 2023686218 от 05.12.2023 г.).





**Рисунок 4.31 – Сайт журнала «Russian Journal of Earth Sciences» на издательской платформе Эдиторум, созданный в 2023 г.**

#### Список использованных источников

- Бояршинов Г. С., Захарова А. А. Системы интерактивной визуализации на основе гиперглобусов // Геоконтекст. – 2022. – Т. 10. – № 1. – С. 64–76. [Электронный ресурс] URL: <https://geo-context.org/index.php/geocontext/issue/view/10> (дата обращения: 26.02.2024).
- Гвишиани А. Д., Панченко В. Я., Никитина И. М. Системный анализ Больших Данных для наук о Земле // Вестник РАН. – 2023. – Т. 93. – № 6. – С. 518–525. – <https://doi.org/10.31857/S0869587323060087>.
- Захаров В. Н., Гвишиани А. Д., Вайсберг Л. А., Дзеранов Б. В. Большие данные и устойчивое функционирование горнотехнических систем // Горный журнал. – 2021. – № 11. – С. 45–52. – <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.11.06>.
- Землетрясения Северной Евразии, ... год (ежегодники 1992–2017 гг.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 1997–2022. [Электронный ресурс] URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse> (дата обращения: 26.02.2024).
- Землетрясения в России в ... году (ежегодники 2003–2021 гг.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2006–2023. [Электронный ресурс] URL: \_\_\_\_\_



- <http://www.ceme.gsras.ru/zr/> (дата обращения: 26.02.2024).
- Землетрясения в СССР в ... году (ежегодники 1962–1991 гг.). – М.: Наука, 1964–1997.
- Попов С. В., Головина Л. А., Палку Д. В., Гончарова И. А., Пинчук Т. Н., Ростовцева Ю. В., Ахметьев М. А., Александрова Г. Н., Запорожец Н. И., Банников А. Ф., Былинская М. Е., Застрожных А. С., Лазарев С. Ю. Неоген Восточного Паратетиса: регионарусная шкала, опорные разрезы и проблемы корреляции // Тр. ПИН РАН. – Т. 299. М.: РАН. – 2023. – 512 с.
- Соловьёв А. А., Краснопёров 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. – 2018. – № 2. – С. 65–76. – <https://doi.org/10.7868/S0205961418020070>.
- Трубихин В. М., Пилипенко О. В. Петромагнетизм и палеомагнетизм мезотических отложений опорного разреза Попов Камень (Таманский п-ов) // Физика Земли. – 2011. – № 3. – С. 83–95. – <https://doi.org/10.31857/S0002333722060114>.
- Arpe K., Leroy S. A. G., Lakijani H., Khan V. Impact of the European Russia drought in 2010 on the Caspian Sea level // Hydrology and Earth System Sciences. – 2012. – Vol. 16. – P. 19–27. – <https://doi.org/10.5194/hess-16-19-2012>.
- Dumont J. P., Rosmorduc V., Picot N., Desai S., Bonekamp H., Figa J., Lillibridge J., Scharroo R. OSTM/Jason-2 Products Handbook. CNES: SALP-MU-M-OP-15815-CN. EUMETSAT: EUM/OPS-JAS/MAN/08/0041. JPL: OSTM-29-1237. NOAA/NESDIS: Polar Series/OSTM J400. – 2011. – Issue 1. – Rev. 8. – 72 p.
- 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. – Is. 10. – 5010. – <https://doi.org/10.3390/app12105010>.
- Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. – 2001. – Vol. 4. – No. 1. – 9 p. [Electronic resource] URL: [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm) (дата обращения: 26.02.2024).
- Hilgen F. J., Schwarzbacher W., Strasser A. Concepts and definitions in cyclostratigraphy (second report of the cyclostratigraphy working group) // SEPM. Spec. Publ. – 2004. – No. 81. – P. 303–305.
- Laskar J., Robutel P., Joutel F., Gastineau M., Correia A. C. M., Levrard B. A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth // Astronomy &



- Astrophysics. – 2004. – Vol. 428. – P. 261–285. – <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20041335>.
- Paillard D., Labeyrie L., Yiou P., Macintosh program performs time-series analysis // Transactions American Geophysical Union. – 1996. – Vol. 77. – P. 379. – <https://doi.org/10.1029/96EO00259>.
- Ponte R. M., Wunsch C., Stammer D. Spatial mapping of time-variable errors in Jason-1 and TOPEX/Poseidon sea surface height measurements // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. – 2007. – Vol. 24. – No. 6. P. 1078–1085. – <https://doi.org/10.1175/JTECH2029.1>.
- Popov S. V., Goncharova I. A., Kozyrenko T. F. et al. Neogene Stratigraphy and Palaeontology of the Taman and Kerch Peninsulas // Excursion guidebook. M.: Palaeontol. Inst. RAS. – 1996. – 30 p.
- Popov S. V., Rostovtseva Y. V., Fillippova N. Y. et al. Paleontology and stratigraphy of the Middle–Upper Miocene of the Taman Peninsula: Part 1. Description of key sections and benthic fossil groups // Paleontol. J. – 2016. – Vol. 50. – P. 1039–1206. – <https://doi.org/10.1134/S0031030116100014>.
- Radionova E. P., Golovina L. A. Upper Maeotian-lower Pontian “transitional strata” in the Taman Peninsula: stratigraphic position and paleogeographic interpretations // Geol. Carpathica. – 2011. – Vol. 62. – No. 1. – P. 77–90.
- Schulz M., Mudelsee M. REDFIT: Estimating red-noise spectra directly from unevenly spaced paleoclimatic time series // Computers & Geosciences. – 2002. – Vol. 28. – P. 421–426. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(01\)00044-9](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(01)00044-9).
- Vorobieva I. A., Gvishiani A. D., Shebalin P. N., Dzeboev B. A., Dzeranov B. V., Skorkina A. A., Sergeeva N. A., Fomenko N. A. Integrated earthquake catalog II: The Western sector of the Russian Arctic // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13. – 7084. <https://doi.org/10.3390/app13127084>.
- Vorobieva I. A., Gvishiani A. D., Shebalin P. N., Dzeboev B. A., Dzeranov B. V., Sergeeva N. A., Kedrov E. O., Barykina Y. V. Integrated earthquake catalog. III. Gakkel Ridge, Knipovich Ridge and Svalbard archipelago // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13. – 12411. <https://doi.org/10.3390/app132212422>.
- Vorobieva I. A., Dzeboev B. A., Dzeranov B. V., Gvishiani A. D., Zaalishvili V. B., Sergeeva N. A., Nikitina I. M. Integrated earthquake catalog of the Ossetian sector of the Greater Caucasus // Applied Sciences. 2024. – Vol. 14. – No. 172. – <https://doi.org/10.3390/app14010172>.



## **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

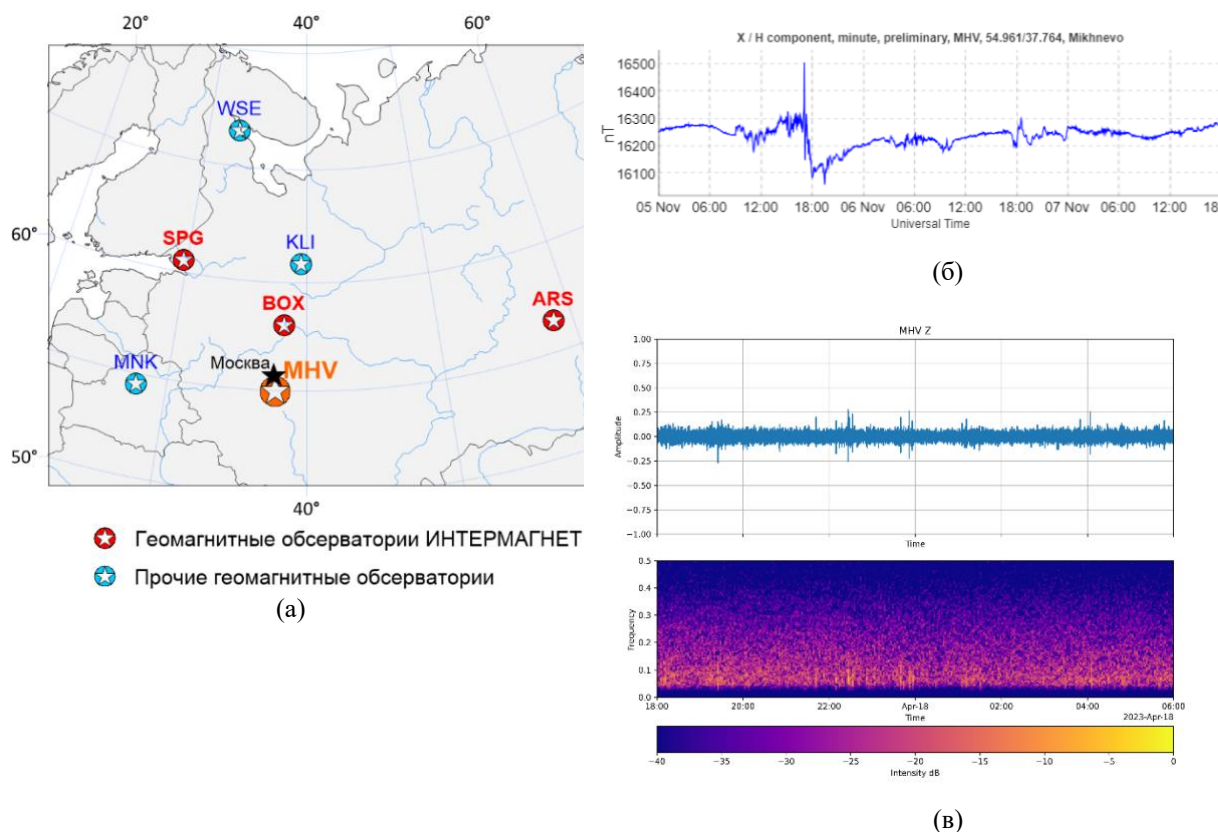
Руководитель: в.н.с., к.ф.-м.н. Р. В. Сидоров

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

### **5.1 Оснащение и поддержка стационарных геомагнитных наблюдений в РФ и на территории ближнего зарубежья; анализ данных**

В 2023 г. получила развитие комплексная геофизическая обсерватория «Михнево». Высокоточная геомагнитная обсерватория, интегрированная в инфраструктуру геофизической обсерватории «Михнево», развивается с 2019 г. совместными усилиями ГЦ РАН и Института динамики геосфер им. академика М. А. Садовского Российской академии наук (ИДГ РАН). В 2019–2021 гг. были построены измерительные павильоны, в 2022–2023 гг. обсерватория была доукомплектована магнитометрическим оборудованием. В 2023 г. был определён азимут визирной цели для абсолютных измерений и сформулированы также рекомендации по установке постоянно действующего пункта ГНСС для создания надежной геодезической основы выполнения измерений на геофизической обсерватории «Михнево». Таким образом, с 2023 г. обсерватория функционирует полноценно: на ней регистрируется модуль магнитного поля, вариации магнитного поля по компонентам и проводятся измерения абсолютных значений магнитного склонения и наклона. «Михнево» является первой современной геомагнитной обсерваторией на обширной территории центрального региона РФ, которая регистрирует высококачественные данные с 1-секундной дискретизацией. Положение обсерватории относительно других обсерваторий РФ и ближнего зарубежья, пример зарегистрированных данных и шумовые характеристики измерений приведены на рис. 5.1.

Был проведен совместный анализ данных ГНСС, метеорологических данных и данных магнитных вариаций, зарегистрированных комплексной геофизической обсерваторией «Климовская». Данные ГНСС были зарегистрированы успешно функционирующим с конца 2021 г. приёмником ГНСС. Метеоданные были получены от установленной там же в 2021 г. метеостанции, регистрирующей атмосферное давление, влажность и температуру воздуха.

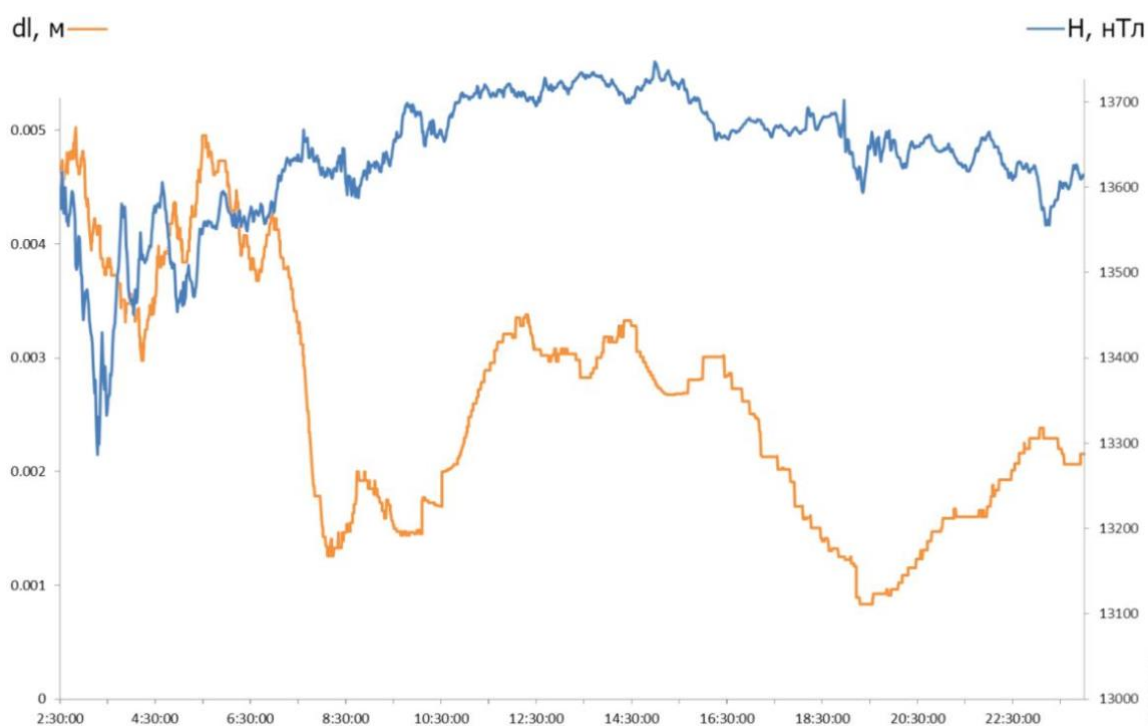


**Рисунок 5.1 – Геомагнитная обсерватория «Михнево»: положение относительно других обсерваторий РФ и ближнего зарубежья (а), пример данных наблюдений горизонтальной компоненты вектора поля (б), шумовые характеристики 1-секундных наблюдений вертикальной компоненты (в)**

Анализ выполнен для периода геомагнитной бури с целью установления согласованности в вариациях данных ГНСС, данных геомагнитного поля и данных атмосферного давления, исходя из предположения, что наблюдения указанных природных процессов в ходе геомагнитного возмущения также подвергаются возмущенности спорадического характера. При этом в случае с геомагнитными вариациями и вариациями данных ГНСС причиной будет являться, несомненно, воздействие ионосферного тока, тогда как связь с вариациями атмосферного давления косвенная и обусловлена влиянием атмосферного электричества и динамики перемещения областей низкого и высокого давления в атмосфере (циклонов и антициклонов). Первичная обработка данных ГНСС была проведена с помощью веб-сервиса Precise Point Positioning [Precise Point Positioning, 2023], при помощи которого исходные RINEX-файлы были конвертированы во временные ряды. Были сопоставлены долготные, широтные и вертикальные ошибки позиционирования и их среднеквадратическая сумма с вариациями горизонтальной компоненты в период магнитной бури 23–26 марта 2023 г. (одна из сильных бурь текущего 25-го цикла солнечной активности, Dst-индекс во время которой достигал в конце главной фазы



пикового значения  $-184$  нТл). Пример совмещенных графиков данных ГНСС и геомагнитных данных представлены на рисунке 5.2 для периода перехода от главной фазы в фазу восстановления (24 марта 2023 г. около 3:00 UTC). Рисунки демонстрируют некоторую согласованность вариаций ошибки позиционирования и вариаций горизонтальной компоненты магнитного поля Земли входе магнитной бури, особенно хорошо видимую для периода главной фазы бури, где данные ГНСС имеют интенсивную изменчивость, как и данные магнитного поля. Аналогичное сопоставление геомагнитных и ГНСС-данных с метеорологическими параметрами, в частности, с атмосферным давлением, пока не позволяет говорить о заметной взаимной корреляции.

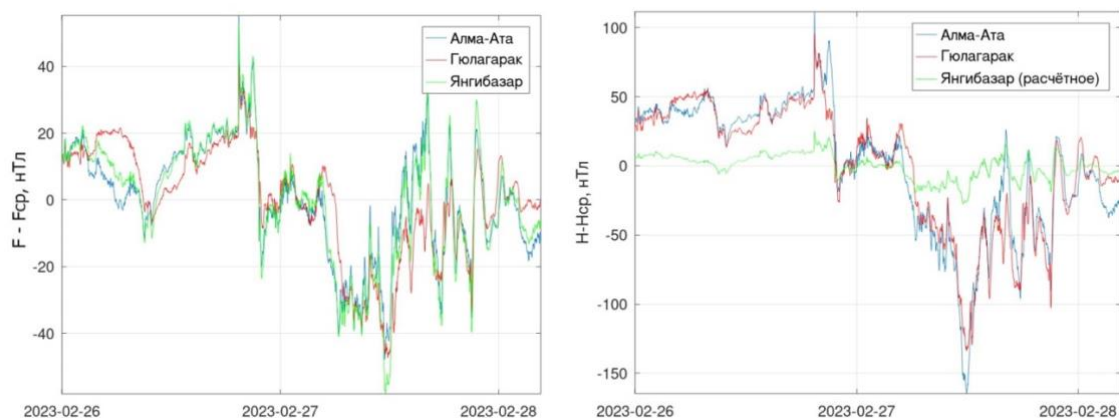


**Рисунок 5.2 – Пример согласованных вариаций ошибки позиционирования  $dl$  по данным ГНСС-приемника (оранжевая кривая, ось значений слева) и вариаций горизонтальной компоненты магнитного поля Земли  $H$  (синяя кривая, ось значений справа) для периода главной фазы геомагнитной бури 23–26 марта 2023 г.**

В рамках научного сотрудничества с  $\epsilon$ -Институтом сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан (ИС АН РУз) ведется подготовка к развёртыванию высокоточного магнитометрического комплекса стандарта ИНТЕРМАГНЕТ на геофизической обсерватории «Янгибазар» (Республика Узбекистан, IAGA-код ТКТ). В настоящий момент на обсерватории функционирует скалярный протонный магнитометр GSM-19, который регистрирует магнитное поле на непрерывной основе



с дискретизацией в 1 минуту. В рамках изучения принципиальной возможности разработки нового регионального аналога Dst-индекса геомагнитной активности проводилось совместное изучение данных модуля магнитного поля от обсерватории «Янгибазар» в сравнении с данными магнитных обсерваторий «Алма-Ата» (IAGA-код AAA, обсерватория входит в международную сеть ИНТЕРМАГНЕТ), расположенной в Казахстане, и «Гюлагарак» (GLK), расположенной в Армении. На рисунке 5.3 слева приведены данные модуля геомагнитного поля, регистрируемые обсерваторией «Янгибазар», в сравнении с данными двух вышеуказанных обсерваторий в период возмущённо геомагнитной активности (период магнитной бури 26 февраля – 1 марта 2023 г., когда Dst-индекс достигал  $-138$  нТл). Для удобства сопоставления из данных модуля магнитного поля и горизонтальной составляющей было вычтено среднее значение. Затем для изучения поведения горизонтальной компоненты, наиболее чувствительной к геомагнитной буре, данные модуля были пересчитаны в горизонтальную компоненту с использованием магнитного склонения по данным модели IGRF [Alken *et al.*, 2021]. Результирующие расчётные значения горизонтальной компоненты  $H$  были сопоставлены с вариациями  $H$  двух упомянутых станций (рис. 5.3, справа). Результат демонстрирует, что обсерватория «Янгибазар» регистрирует надёжные данные от правильно установленного прибора. В ходе дальнейшей работы планируется продолжение развёртывания геомагнитной обсерватории «Янгибазар» как полноценной обсерватории стандарта ИНТЕРМАГНЕТ.



**Рисунок 5.3 — Сравнение данных модуля магнитного поля  $F$  от геомагнитных обсерваторий «Алма-Ата», «Гюлагарак», «Янгибазар» в период геомагнитной бури (с вычтенным средним значением)**

## 5.2 Поиск места для развёртывания нового пункта стационарных геомагнитных измерений в Восточной Сибири

Участок, на котором выполняется развёртывание геомагнитной обсерватории, расположен в горно-таежной местности Прибайкалья (рис. 5.4, слева) на высоте около 750 м над уровнем моря. Участок расположен в окруженной сопками частично заболоченной долине р. Марехты (рис. 5.4, в центре). Рельеф участка – слабохолмистый с наличием кустарника и редких деревьев (рис. 5.4, справа). Юго-западный угол подходит вплотную к лесному массиву.



**Рисунок 5.4 – Полевые работы на участке развёртывания геомагнитной обсерватории: общий вид (слева), р. Марехта, примыкающая к границе участка работ (в центре), северная часть участка работ с высоким кустарником (справа)**

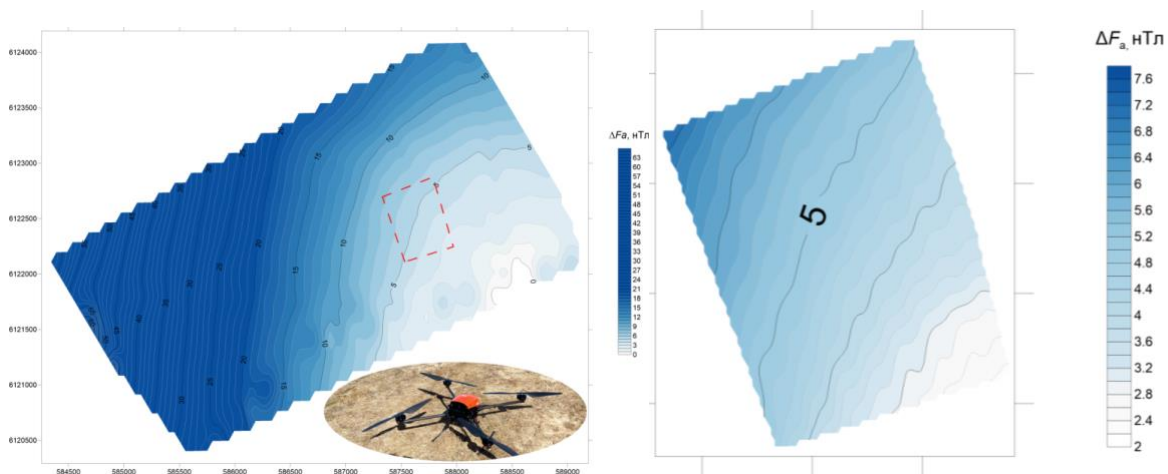
Выбор предварительной локации для исследований был обусловлен, прежде всего, удалением от зданий, сооружений, коммуникаций и другой технологической инфраструктуры. Также были учтены физико-географические особенности местности (рельеф и залесенность) и ее геологическое строение.

Задача аэромагнитной съемки заключалась в изучении характера магнитных аномалий на обширной территории в окрестностях будущей магнитной обсерватории. Метод аэромагниторазведки с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) обладает большей производительностью, чем у пешеходной съёмки, в особенности в труднопроходимых районах [Алёшин и др., 2019]. Однако такой метод имеет меньшее пространственное разрешение. Применяемый нами комплекс Геоскан [Магнитная, 2023] решает задачу в несколько этапов: вначале выполняется аэрофотосъемка местности для построения её цифровой модели при помощи БПЛА Геоскан-101 типа «крыло». Далее с учетом этой цифровой модели местности осуществлялся полет БПЛА Геоскан-401 мультироторного типа с подвесным магнитометром.

Для корректного учёта суточного хода магнитного поля в районе полета была установлена магнитовариационная станция, в качестве которой использовался полевой магнитометр GEM systems GSM-19. Обработка аэромагнитометрии представляла собой расчет аномальной составляющей магнитного поля  $\Delta F_a$ , т. е. разности между значениями модуля МПЗ, измеренным оператором в точке съёмки  $F_s$ , и измеренным магнитовариационной станцией  $F_b$  в ближайший момент времени  $t_i$ :

$$\Delta F_a = F_s(t_i) - F_b(t_i).$$

Карта аэромагнитной съёмки региона показана на рис. 5.5 слева. Видно, что общий характер  $\Delta F_a$  в его пределах изменяется плавно, возрастая почти строго в западном направлении примерно на 10–12 нТл на каждые 500 м. Для ещё большей достоверности была выполнена более детальная аэромагнитная съёмка (рис. 5.5 справа) на участке, в который входила территория, выбранная для дальнейшей детальной наземной магнитоградиентометрии.



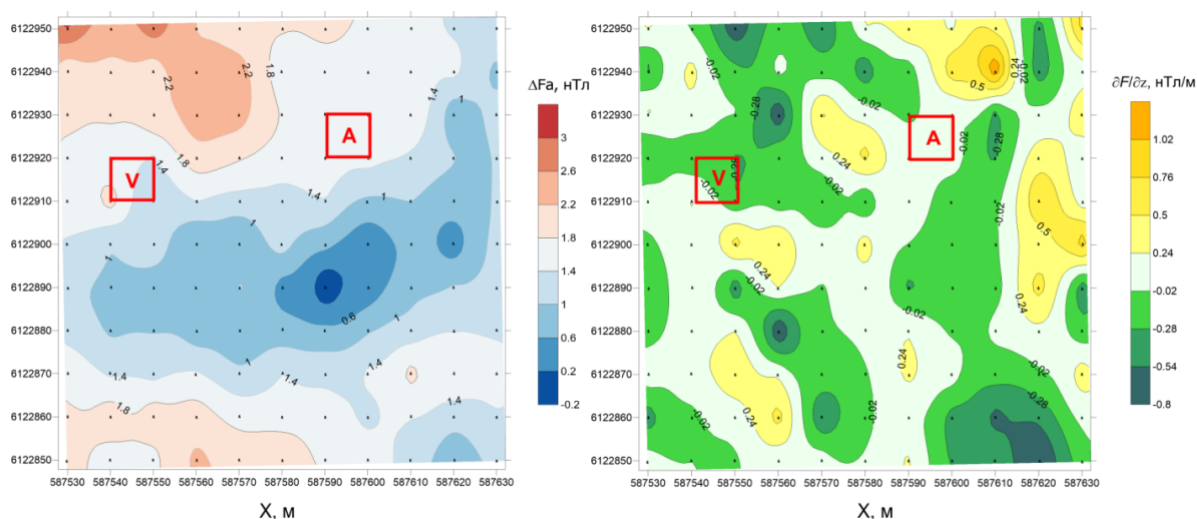
**Рисунок 5.5 – Карта аэромагнитной съёмки исследуемого региона: карта всего участка, на врезке внизу приведён внешний вид магниторазведочного БПЛА Геоскан-401 (слева); область, обведённая пунктиром и исследованная в ходе детальной аэромагнитной съёмки (справа)**

Наземная магнитоградиентометрия выполнялась в нескольких масштабах с целью последовательной детализации распределения магнитных аномалий в месте расположения обсерватории. Съёмка включала в себя три этапа:

- 1 первичная съёмка с пространственным шагом  $50 \times 50$  м (т. е. шаг профиля и шаг между профилями составляли 50 м);
- 2 детальная съёмка с шагом  $10 \times 10$  м на участке, выбранном по итогам первичной съёмки, для изучения магнитных аномалий, сопоставимых с размерами территории будущей обсерватории;

3 микромагнитная съёмка с шагом  $1 \times 1$  м для изучения участков, выбранных по итогам детальной съёмки, для выбора площадок строительства измерительных павильонов.

Решение о выборе квадратной сети измерений, т. е. такой, в которой шаг профиля равен расстоянию между профилями, было принято, исходя из специфики задачи поиска зон, наиболее благоприятных для расположения павильонов обсерватории. На рис. 5.6 приведен пример карт магнитных аномалий, полученных по результатам второго этапа съёмки с шагом  $10 \times 10$  м. Карты построены для двух параметров: аномальной составляющей  $\Delta F_a$  и вертикального градиента магнитного поля  $\partial F/\partial z$ , полевые измерения которого не требовали предварительной обработки. Прямоугольниками с буквами А и В на картах обозначены участки, которые были выбраны для размещения абсолютного и вариационного павильонов и итоговой микромагнитоградиентометрии. По итогу последнего этапа наземной съёмки было произведено закрепление положения постаментов вариометрического и абсолютного павильонов и визирной цели для будущих обсерваторских абсолютных измерений. По рекомендациям IAGA [Jankowski and Sucksdorff, 1996], анализ распределений пространственных градиентов магнитного поля Земли позволяет сделать вывод о пригодности данного участка для развёртывания геомагнитной обсерватории стандарта ИНТЕРМАГНЕТ.



**Рисунок 5.6 – Карты магнитных аномалий, получаемых в ходе промежуточного этапа наземной магнитоградиентной съёмки: карта аномальной составляющей  $\Delta F_a$  (слева) и карта вертикального градиента МПЗ  $\partial F/\partial z$  (справа)**





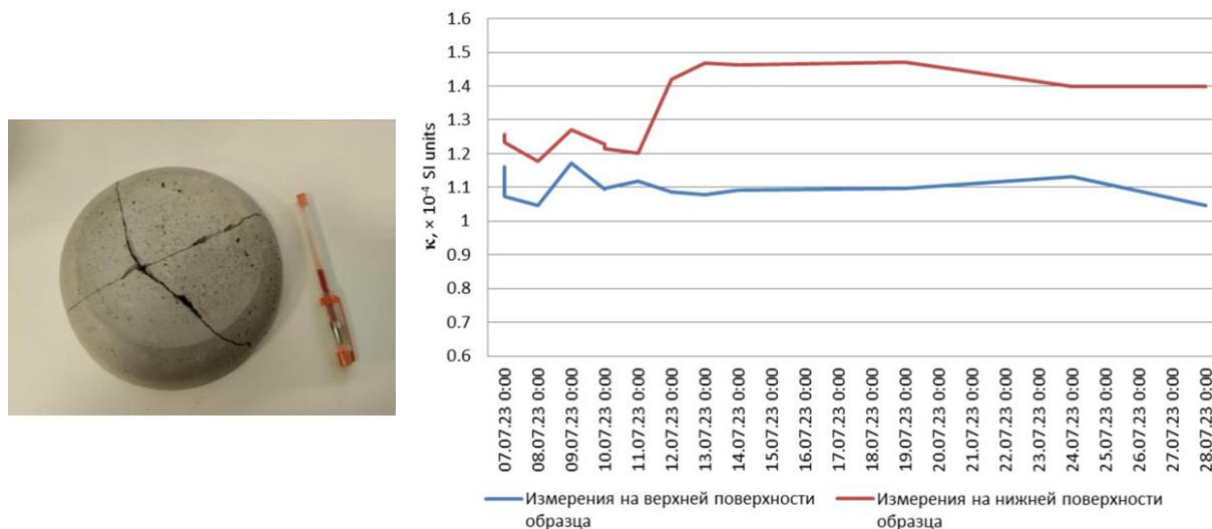
### 5.3 Изучение магнитных свойств стройматериалов для геомагнитных обсерваторий

В рамках работы в 2023 г. обобщены результаты ГЦ РАН по исследованию магнитных свойств строительных материалов для магнитных обсерваторий и окружающих горных пород в окрестностях обсерваторий [Krasnoperov et al., 2023]. Сформулированы некоторые практические аспекты и рекомендации, основанные на экспериментах, натурных и лабораторных определениях магнитной восприимчивости. Отмечены возможности некоторых инновационных композиционных материалов. В указанной выше статье приведено несколько примеров влияния строительных материалов на качество данных обсерваторий (в нашем случае, как магнитное поле от светодиодов, размещенных над постаментом абсолютных измерений).

В 2023 г. было поставлено несколько экспериментов с веществами с целью моделирования эффекта намагничивания вещества при его отвердевании, связанного с ориентационной остаточной намагниченностью. Так, был проведен эксперимент по измерению магнитной восприимчивости бетона Axton M300, при этом использовался портативный каппаметр ПИМВ. Вначале была определена магнитная восприимчивость сухой бетонной смеси (порошка). Далее бетон был обводнен и перемешан в пластиковой таре. В ходе отвердевания образца магнитная восприимчивость измерялась вначале только на верхней поверхности образца; позже, когда относительно твердый образец (рис. 5.7, слева) был извлечен из тары, измерения проводились на верхней и нижней его гранях. Измерения велись практически ежедневно в течение 23 дней и 7 часов с момента заливки бетона. Кривые изменения магнитной восприимчивости проведены на рис. 5.7, справа. В нижней части образца рост магнитной восприимчивости был сильнее, чем в верхней (с 11 по 13 июля в течение 2,5 сут. он был очень резким), возможно, из-за более существенного отвердевания и испарения воды. Интерес также представляет некоторое сближение магнитной восприимчивости на гранях со временем. В ходе эксперимента установлено, что на нижней поверхности твердого образца бетона магнитная восприимчивость в среднем в 1,5 раза выше, чем у сухой бетонной смеси ( $0,91-1,08 \times 10^{-4}$  ед. СИ).

Явление намагничивания бетона накладывает определенные ограничения на использование бетона в конструкции столбов, главным образом связанные с необходимостью создания полностью немагнитной верхней части столба вместо изготовления цельного монолитного бетонного столба. Эксперименты по изучению

магнитных свойств строительных материалов и их изменчивости позволяют разработать основу для нового научного направления, которое можно назвать обсерваторским магнитным материаловедением. В рамках данного направления возможен будет широкий круг как лабораторных, так и полевых исследований магнитных свойств строительных материалов и конструкций для обсерваторской деятельности.



**Рисунок 5.7 – Образец бетона Axton M300 (слева) и кривые изменения магнитной восприимчивости на его гранях (справа)**

#### **5.4 Распознавание геомагнитных бурь на основе мюонных данных с использованием нейронных сетей**

В рамках развивающегося подхода к обработке данных мониторинга околоземного космического пространства с использованием нейронных сетей глубокого обучения [Белов и др., 2022] решена задача распознавания геомагнитных бурь на основе цифровой обработки матричных временных рядов наблюдений мюонного годоскопа УРАГАН. Разработан алгоритм распознавания геомагнитных бурь. Произведён выбор оптимального варианта программного модуля нейронной сети, определены его параметры. Распознавание геомагнитных бурь рассмотрено с применением процедур бинарной классификации, сформировано правило принятия решений. Предложены формулы для оценок вероятностей правильных и ложных распознаваний, применены функции потерь и метрики качества. Экспериментально исследовано распознавание геомагнитных бурь. Вычисления по разработанному алгоритму для шестимесячного временного участка с учётом назначенного порога



$Y_{D0} = -45$  нТл и результатов расчётов позволили получить приемлемые вероятности правильных и ложных распознаваний, составившие значения  $\beta^\circ = 0.8212$  и  $\alpha^\circ = 0.0047$ . Подтверждены работоспособность и эффективность предложенного нейросетевого подхода. Результаты работы ориентированы на широкий круг задач солнечно-земной физики.

### 5.5 Международное сотрудничество

В 2023 г. ГЦ РАН принял участие в 19-м семинаре Международной ассоциации геомагнетизма и аэрономии (IAGA) по инструментам, сбору и обработке данных геомагнитных обсерваторий. В этом году данный семинар проходил в Венгрии и включал в себя две части:

1. сверку магнитометров путём общей сессии измерений абсолютных значений магнитного склонения и наклона (22–23 мая, г. Тихань, геомагнитная обсерватория Тихань (IAGA-код THY))
2. международную научную конференцию, посвященную вопросам развития геомагнитных обсерваторий, аппаратуры, методов обработки и анализа геомагнитных данных (24–26 мая, г. Шопрон, Институт физики Земли и космических наук (EPSS) Исследовательской сети Этвеша Лорана).

Участие ГЦ РАН в данном мероприятии подразумевало следующие цели:

- сверка феррозондового деклинометра/инклинометра на немагнитном теодолите Theo-010, сер. № 201243; данный деклинометр/инклинометр является штатным на магнитной обсерватории «Гюлагарак» (IAGA-код GLK, 40,935° с. ш., 44,475° в. д.), совместно развиваемой и поддерживаемой ГЦ РАН и Институтом геофизики инженерной сейсмологии Национальной академии наук Республики Армения;
- участие в научной конференции с докладом «Magnetic susceptibility measurements in geomagnetic observatory installation practice» (Sidorov R. V., Soloviev A. A., Krasnoperov R. I., Grudnev A. A., Karapetyan J. K., Lazarev D. D.).

В рамках подготовленного ГЦ РАН постерного доклада были продемонстрированы образцы стройматериалов (см. п. 1.3). Доклад вызвал живой интерес у коллег, в частности, из Германии, Австрии, ЮАР, а также Бельгии. Интерес был вызван не только поднятой темой важности проверки магнитных свойств строительных материалов для магнитной обсерватории, но и необходимостью в



применении новых материалов для возведения измерительных павильонов новых обсерваторий.

#### Список использованных источников

- Алёшин И. М., Соловьёв А. А., Алёшин М. И., Сидоров Р. В., Соловьёва Е. Н., Холодков К. И. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в геомагнитных исследованиях // Наука и технологические разработки. – 2019. – Т. 98. – № 3. С. – 32–48.
- Белов А. В., Гвишиани А. Д., Гетманов В. Г., Ковыляева А. А., Соловьёв А. А., Чинкин В. Е., Янке В. Г., Яшин И. И. Распознавание геомагнитных бурь на основе нейросетевых модельных оценок Dst-индексов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2022. – №1. – С. 56–66. DOI: 10.31857/S0002338822010048
- Магнитная съёмка: ГК Геоскан [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.geoscan.ru/ru/services/aeromagnetic\\_survey](https://www.geoscan.ru/ru/services/aeromagnetic_survey) (дата обращения: 20.11.2023).
- 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
- Jankowski J. and Sucksdorff C., Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice. – Warsaw: IAGA, 1996. – 238 p.
- Krasnoperov R., Sidorov R., Grudnev A., Karapetyan J., Lazarev D. On the magnetic properties of construction materials for magnetic observatories // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13. – No. 4. DOI: 10.3390/app13042246
- Precise Point positioning (PPP) – CGRSC [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: <https://cgrsc.ca/resources/gnss-augmentation/precise-point-positioning-ppp/> (дата обращения: 25.11.2023).

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

Грант РФФИ № 21-77-30010  
Регистрационный №: 121041200191-6  
Руководитель: г.н.с. д.ф.-м.н. Пилипенко В. А.

### 6.1 Воздействие космической погоды на технологические системы

Для изучения природы возмущений геомагнитного поля в ионосфере создана онлайн-система TeslaSwarm (<http://aleph.gcras.ru/teslaswarm>). Система реализует визуализацию продольных токов в верхней ионосфере с использованием данных многоспутниковой миссии Swarm (рис. 6.1). Система дает исследователям простой и удобный инструмент для отбора событий и анализа токов и электромагнитных полей в верхней ионосфере, предоставляет возможность отбора пролетов спутников над заданным регионом, визуализации структуры токов вдоль силовых линий, сопоставления картины продольных токов с картой высыпания авроральных частиц. Система по качеству предоставляемой информации и удобству для пользователя превосходит зарубежные аналоги. Также в рамках задачи анализа высокочастотных записей (50 Гц) магнитометров спутниковой группировки Swarm для выделения пространственных неоднородностей разработана программа разделения пространственных и временных вариаций.

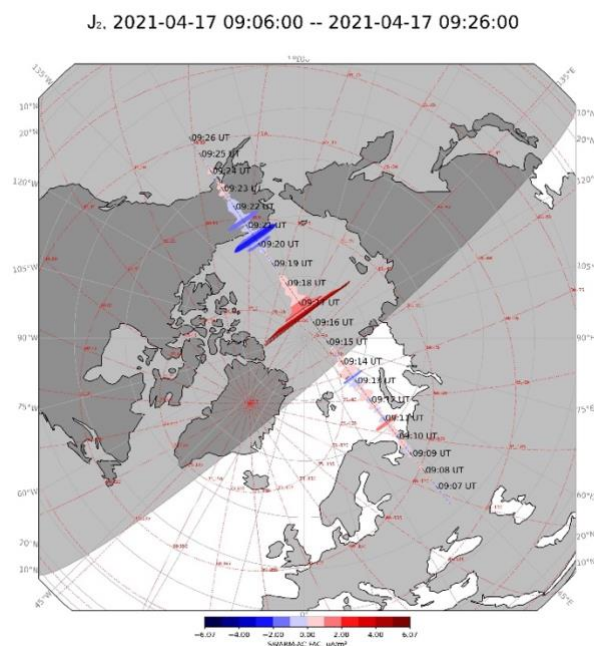


Рисунок 6.1 – Значения плотности продольных токов вдоль усредненного пролета спутников Swarm A, C 17.04.2021 в 09:06:00–09:26:00 UT в северной ортографической проекции





Завершена программа теоретического анализа возможности регистрации излучений крайне низкой частоты (КНЧ) в качестве дистанционного средства обнаружения перегрузки в работе энергетических сетей, вызванной ГИТ. Создана и апробирована модель для расчета электромагнитного поля от КНЧ излучателя с учетом реальной структуры системы Земля-атмосфера-ионосфера и конечной длины источника. Выполнено численное моделирование проникновения излучений в частотном диапазоне от единиц до сотен Гц в верхнюю ионосферу от заземленной ЛЭП конечной длины. Численная схема основана на теоретическом формализме, разработанном для описания возбуждения электромагнитного поля горизонтальным заземленным диполем. Показано, что ток дисбаланса на промышленной частоте создает отклик в верхней ионосфере, достаточный для регистрации на низкоорбитальных спутниках.

Для прогноза наземных проявлений космической погоды выполнен анализ высокоширотных ГИТ во время двух типов магнитных бурь: связанных с корональным выбросом массы (СМЕ) и высокоскоростным потоком солнечного ветра, создающим коротирующую область взаимодействия (CIR). Относительная эффективность (отношение максимальных значений ГИТ и  $|Dst|$  индекса) для CIR бури оказалась почти в три раза больше, чем для СМЕ бури, что объясняется вкладом геомагнитных пульсаций  $Pi3$  и связанных с ними среднемасштабных вихревых токовых систем в ионосфере.

Исследованы внемагнитосферные факторы, влияющие на ГИТ-эффективность пульсаций диапазона  $Pc5-Pi3$ . Для анализа использованы данные многолетних измерений вариаций геомагнитного поля и ГИТ на северо-западе РФ. Показано, что фактором, наиболее важным для генерации пульсаций с высокой ГИТ эффективностью, является скорость солнечного ветра. Повышение скорости солнечного ветра приводит к снижению амплитудного порога возбуждения потенциально опасных ГИТ, а умеренное повышение скорости в течение длительного времени (более 10 часов) по влиянию на ГИТ-эффективность пульсаций аналогично более сильному кратковременному повышению скорости.

Для решения задачи моделирования длительного воздействия ГИТ на элементы технологических систем создана упрощенная модель вариаций намагниченности под действием ГИТ, связанного с геомагнитными пульсациями сложного гармонического состава. В рамках модели получено приближенное аналитическое решение для намагниченности, что позволило получить простую расчетную схему. Показано, что



существенно асимметричная кривая намагничивания возникает для пульсаций с двумя и более спектральными максимумами. Анализ вероятности появления таких пульсаций при разных типах возмущений и на разных широтах будет реализован в 2024 г.

Для завершения исследования влияния геомагнитной активности на пространственное распределение сбоев в работе сигнальной автоматики на Северной ж/д за 2001–2006 гг. анализ сбоев для мурманского участка дополнен анализом беломорского участка. Сравнение пространственного распределения сбоев при разном уровне геомагнитной активности подтвердило значимость экваториального смещения области наиболее вероятного появления сбоев при росте геомагнитной активности, примерно соответствующее экваториальному смещению аврорального овала.

Доказана возможность диагностики полярных сияний на основе интеллектуального анализа геомагнитных данных. Применение байесовского вывода к данным станции «Ловозеро» за 2012–2020 гг. показало, что зависимость апостериорной вероятности наблюдения сияний от геомагнитных параметров имеет логарифмический характер, а степень значимости признака обратно пропорциональна невязке между эмпирическими данными и аппроксимирующей функцией. Точность реализованного на основе метода машинного обучения «случайный лес» подхода к диагностике наличия полярных сияний составляет не менее 86% при использовании нескольких локальных предикторов и ~80% при использовании глобальных геомагнитных индексов.

Впервые в отечественной научной литературе подготовлен обзор, посвященный различным аспектам проблемы воздействия космической погоды на наземные транспортные системы. Одним из основных факторов являются ГИТ в заземленных протяженных конструкциях, возбуждаемые при возмущениях геомагнитного поля. Связанные с ними теллурические электрические поля и токи могут вызывать нарушения электроснабжения и сбои в функционировании рельсовых цепей железнодорожной автоматики. Косвенное воздействие возможно через нарушения стабильной подачи электроэнергии, нарушения в системах связи и в появлении ошибок в навигационных спутниковых системах. Приведены примеры влияния геомагнитных возмущений на работу сигнализации северных участков РЖД.

Разработан программный код для расчета потенциала трубопровода при заданном возмущении электротеллурического поля в поверхностных слоях Земли.



Проведены оценки искажения потенциала «почва–труба» при суббуре 9 октября 2018 г., сопровождавшейся интенсивными геомагнитными P<sub>13</sub> пульсациями. Возмущение теллурического поля построено с помощью пересчета зарегистрированного магнитного возмущения в теллурические поля по импедансному соотношению. Трубопроводная сеть представлена в виде набора эквивалентных схем замещения, которые объединяются между собой для формирования узловой сети проводимости. С использованием метода узловой матрицы полной проводимости определены значения потенциала в узлах трубопроводной системы. Таким образом, создана как экспериментальная база, так и расчетная методика для количественной оценки вариаций потенциала трубопровода для любой заданной системы в АЗРФ.

Исследована возможность прогнозирования уровня изменчивости геомагнитного поля и, следовательно, геоиндуцированных токов, с помощью глобального МГД-моделирования Space Weather Modeling Framework (SWMF). Показано, что моделирование SWMF достаточно хорошо воспроизводит глобальные параметры магнитосферы, однако предсказанная изменчивость магнитного поля  $dB/dt$  оказалась более чем на порядок меньше наблюдаемой. Таким образом, версия SWMF, используемая Центром прогнозирования космической погоды NOAA, не может адекватно предсказать тонкую структуру бури/суббури, связанную с геомагнитными возмущениями P<sub>13</sub> и, следовательно, величину геоиндуцированных токов в ЛЭП, которые они вызывают.

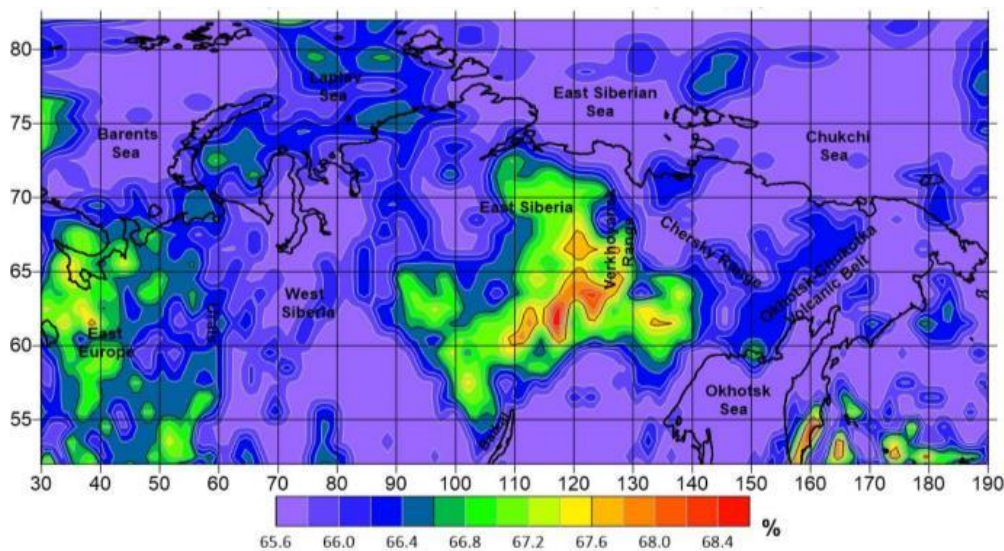
Выполнена тестовая передача минутных данных векторного и скалярного магнитометров со станции Норильск (NOR) в ЦКП «Аналитический центр геомагнитных данных» ГЦ РАН. Сравнительный анализ полученных данных показал принципиальную возможность размещения высокоточного оборудования и доведения качества данных до стандарта ИНТЕРМАГНЕТ. Проведены испытания экспериментального прототипа градиентной установки для регистрации ГИТ в ЛЭП в районе обсерватории «Михнево» (Московская обл.). Результаты измерений загружены в систему АПК МАГНУС, где с помощью сравнительного анализа с данными близлежащей магнитной обсерватории проведено разделение записанного установкой сигнала на природную и техногенную составляющие.

## 6.2 Физическая структура земной горы и верхней мантии

Было завершено построение комплексной трехмерной модели литосферы северной Евразии, включая осадочный чехол и уточненную карту теплового потока, а



также начаты работы по определению глубин до точки Кюри. На основании комплексного анализа данных о гравитационном поле и его вертикальной производной совместно с данными сейсмической томографии и соотношениями физики минералов получено распределение температуры и степени деплетированности мантийного вещества в форме процентного содержания оливина (рис. 6.2). Был определен вклад первоначальной тепловой модели в «мантийное» гравитационное поле и его вертикальные градиенты. Было скорректировано распределение температуры и были уточнены средние значения температуры на каждой глубине, которые недостаточно точно определяются по сейсмической томографии. Глубины до подошвы литосферы определены как положение изотермы 1300 °С согласно тепловой модели.



**Рисунок 6.2 – Степень деплетированности мантии на глубине 100 км (процентное содержание оливина)**

Выполнен расчет новой модели теплового потока (ТП) для Сибири и Дальнего Востока на основе данных, полученных на предыдущих и текущем этапе проекта. На основании данных о строении коры был выполнен расчет эффективной радиогенной теплогенерации (ЭРТ) в верхнем слое коры, который вносит наибольший вклад в ТП. Затем эти результаты совместно с описанными выше данными были использованы для расчета теплового потока на поверхности. Карта ТП в целом соответствует основным тектоническим структурам региона, а также раскрывает некоторые локальные особенности, которые не были выявлены ранее. В частности, обнаружены зоны повышенного ТП вдоль границ шельфа северных морей, Берингова пролива и областей мезозойской складчатости юго-восточной Сибири. Повышенный

ТП в зоне континентальной границы Европейской и Северо-Американской плит коррелируется с повышенной тектонической активностью.

Благодаря построенной ранее модели осадочного чехла [Sidorov et al., 2021] уточнено пространственное распределение осадочного чехла п-ова Ямал и положение депоцентра Южно-Карской впадины. Мощность отложений Ямало-Тазовской впадины оказалась примерно на 1 км меньше, чем считалось ранее, при этом распределение осадков по латерали в новой модели не изменилось. Новая модель показывает более мощную область осадочных отложений в восточной части Центрально-Таймырского сегмента и существенную глубину в некоторых частях Южно-Таймырского сегмента (15–18 км). Эти результаты в целом согласуются со стратиграфическими данными последних лет.

Были начаты работы по расчету глубин до точки Кюри (ГТК). На первом этапе составлена карта ГТК арктического региона, основанная на трех моделях [Davies, 2013; Lucazeau, 2019; Petrunin et al., 2022]. Интегральная модель рассчитана с использованием весовых коэффициентов, что позволило отобразить аномальные зоны каждой из модели, но при этом сохранить общий уровень глубин (рис. 6.3). Второй этап включал разработку алгоритма расчета глубины точки Кюри по магнитным данным. Созданы два алгоритма, основанные на аппроксимации главной магнитной поверхности бесконечно протяженным горизонтальным слоем, а также методе с разложением характеристик в спектральной области с получением нескольких характеристик магнитного слоя [Bouligand et al., 2009].

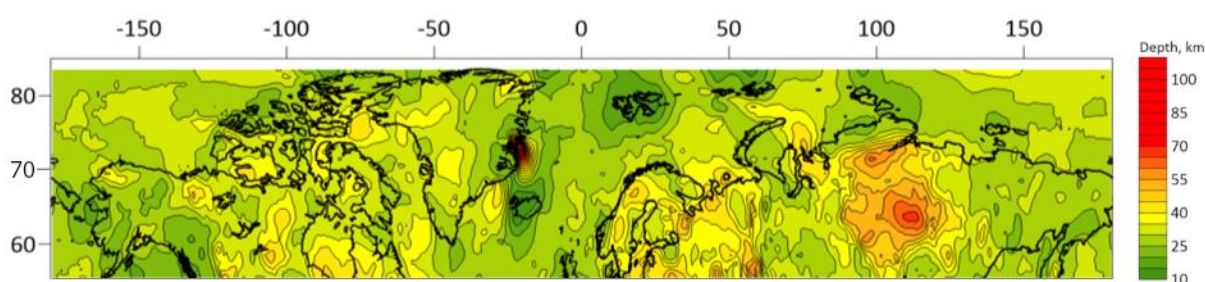


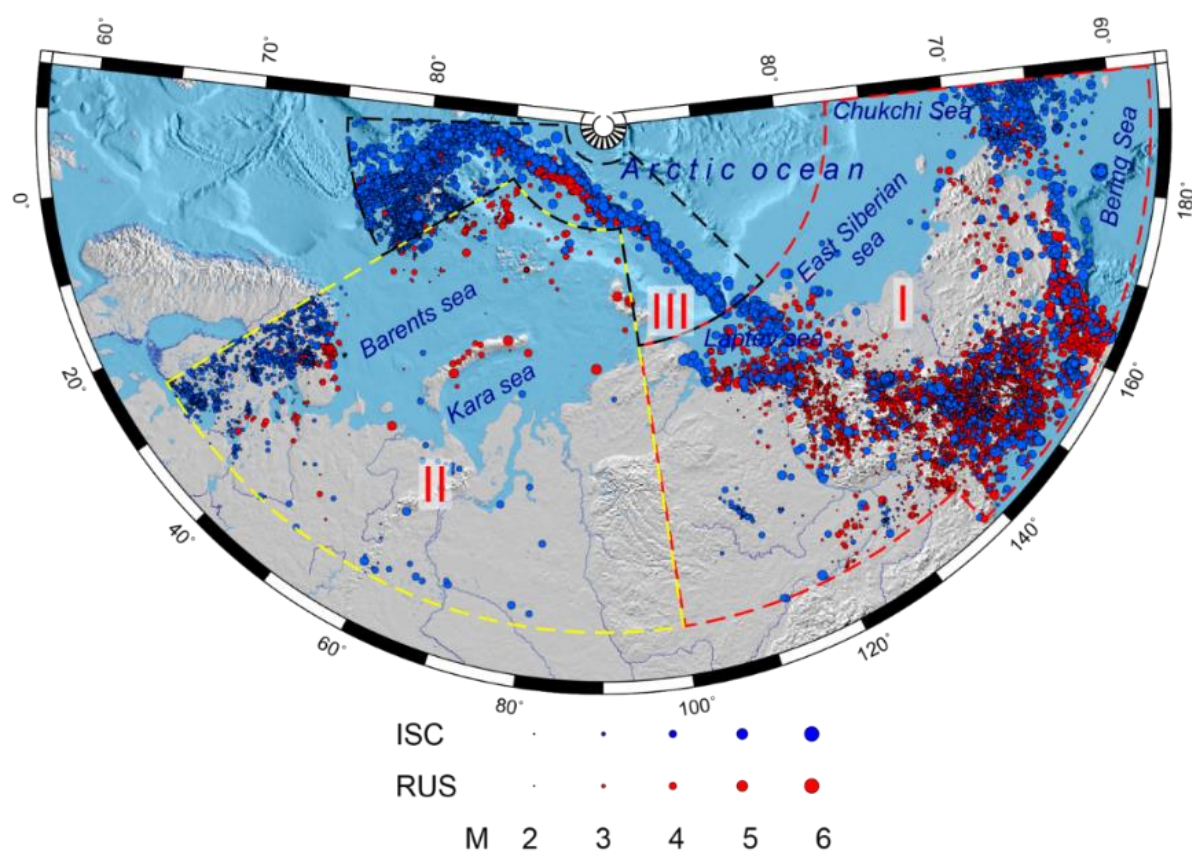
Рисунок 6.3 – Объединённая модель ГТК по данным теплового потока

### 6.3 Изучение сейсмической активности

Для создания наиболее полного объединенного каталога землетрясений АЗРФ с унифицированной магнитудной шкалой использовался алгоритм объединения каталогов [Vorobieva et al., 2022]. Его основная задача – идентификация дублей и их отделение от афтершоков. По отдельности созданы объединенные каталоги



землетрясений для западного сектора АЗРФ и для хребтов Гаккеля, Книповича и архипелага Шпицберген. Каталоги интегрируют в себе все доступные данные российских и международных сейсмологических агентств. Первый каталог содержит информацию о 4629 сейсмических событиях за период 1963–2022 гг. и 2126 событиях за 1998–2020 гг. Второй каталог содержит информацию о 17922 сейсмических событиях за 1962–2022 гг. Проведена работа по приведению подготовленных каталогов к однородной магнитудной шкале. В итоге впервые был создан объединенный каталог землетрясений с унифицированной магнитудной шкалой всей АЗРФ, включая хребты Гаккеля, Книповича и архипелаг Шпицберген (рис. 6.4).

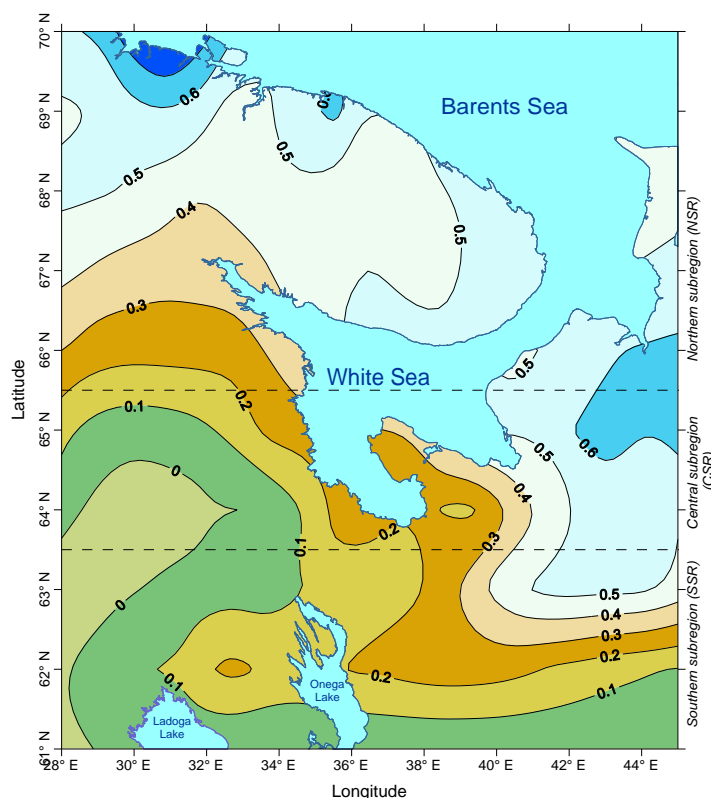


**Рисунок 6.4 – Карта эпицентров землетрясений объединенного каталога землетрясений АЗРФ за период 1962–2022 гг.**

#### **6.4 Исследование климатических процессов**

Проанализированы климатические изменения стока рек, количества осадков, влажности и скорости приповерхностного ветра на территориях Мурманской и Архангельской областей и респ. Карелия по данным реанализа NASA MERRA-2. Для исследования климатических изменений среднемесячной температуры приземного воздуха на высоте 2 м, влажности приземного воздуха на высоте 2 м, скорости

приземного ветра на высоте 2 м, суммы осадков, температуры верхнего слоя почвы (0–10 см), влагосодержания верхнего слоя почвы (0–10 см) и поверхностного стока, включая сквозной, использовались данные за период 1980–2021 гг. Для тех же территорий дополнительно проведён анализ климатической изменчивости температуры воздуха, температуры и влажности почвы на разных горизонтах по измерениям in-situ и кросс-вейвлет анализа (рис. 6.5).



**Рисунок 6.5 – Соотношения линейного тренда температуры почвы на глубине 100 см к линейному тренду температуры приземного воздуха по данным атмосферного реанализа MERRA2 за период 1980–2021 гг.**

По данным наблюдений и реанализам исследованы климатические изменения и межгодовая изменчивость стока рек, количества осадков, влагосодержания почвы и атмосферы в регионе Белого моря за более чем вековой период. Обнаружен существенный рост количества осадков с середины 1970-х по 2021 г. Показано, что этот рост сильнее всего проявился в районах Кандалакшского и Двинского заливов, а также в районе водосбора Северной Двины. Выдвинута гипотеза, что обнаруженное увеличение осадков может быть связано с усилением влияния Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана на регион Белого моря. Выполненный спектральный и вейвлетный анализ выявил колебания исследуемых параметров с периодами 2–4 года и 12–14 лет. С помощью кросс-вейвлетного анализа показана связь межгодовой



изменчивости количества осадков в регионе Белого моря с Северо-Атлантическим и арктическим колебаниями.

Исследована межгодовая изменчивость скорости ветра в районе Белого моря за период с 1950 по 2021 г. Выявлены изменения с периодами близкими к периодам Эль-Ниньо – Южного колебания (2–6 лет) и Северо-Атлантического колебания (7–9 лет). Показано влияние этих колебаний на межгодовую изменчивость скорости ветра в районе Белого моря и найдены периоды их синхронизации и рассинхронизации. Высказана гипотеза о роли Глобальной атмосферной осцилляции в качестве синхронизирующего звена между тропиками Тихого океана, Северной Атлантикой и районом Белого моря.

Рассчитаны основные характеристики (амплитуда, частота и продолжительность) межгодовой изменчивости экстремальных климатических событий на основе статистического анализа пространственно-временных параметров уровня Баренцева и Белого морей и других климатических параметров за 1980–2021 гг. Экстремальные величины аномалий уровня имеют тенденцию к уменьшению амплитуды, продолжительности и числа экстремальных событий в этих акваториях. Те же характеристики рассчитаны и проанализированы в отношении значимых высот волн на акватории Баренцева и Белого морей по данным альтиметрических измерений. Межгодовая изменчивость этих параметров показала незначительный отрицательный тренд, экстремальные значимые высоты волн также имеют тенденцию к уменьшению амплитуды, продолжительности и числа экстремальных событий в этих акваториях. Подготовлены заявки на получение свидетельств о регистрации баз данных об уровне Белого и Баренцева морей по данным спутниковой альтиметрии.

Простроены карты повторяемости экстремальных значимых высот волн на акватории Ладожского и Онежского озёр. По данным альтиметрических измерений межгодовая изменчивость значимых высот волн Ладожского и Онежского озёр имеет отрицательный тренд. Амплитуды экстремальных значимых высот волн, а также частота их повторения также уменьшаются. Зарегистрированы и получены свидетельства на базы данных значимых высот волн на акватории Ладожского и Онежского озёр.

Подготовлен и опубликован обзор международного опыта адаптации железнодорожной отрасли к влиянию изменения климата в субарктических регионах Канады и Швеции, а также в высокогорной части Китая.

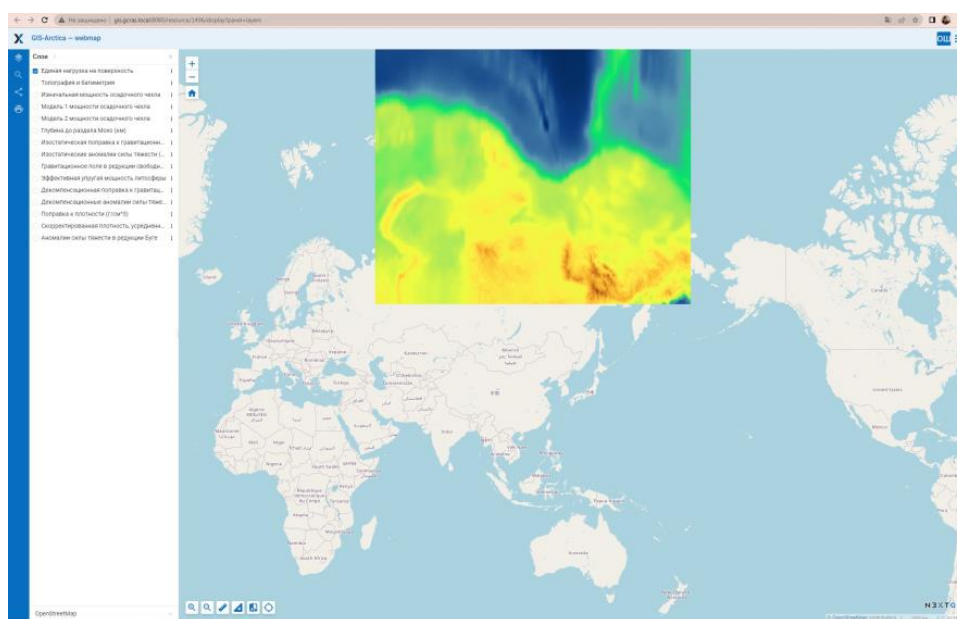


Сформулирована модель образования пузырьков метана в торфяных болотах. В настоящее время становится все более очевидным, что атмосферный метан вносит существенный вклад в тепловой баланс земной атмосферы и, тем самым, может влиять на климат и погодные условия на нашей планете. Общепринятое мнение связывает выбросы метана в атмосферу с его производством бактериями в болотах. Хотя происхождение метана в болотах установлено уже давно, механизмы, ответственные за его перенос в атмосферу, до сих пор не выяснены. Ранее [Moore, Knowles, 1990; Happell et al., 1995] сообщалось о лабораторных экспериментах, показавших, что образование пузырьков также может вносить свой вклад в выделение метана. Вклад этого механизма иногда может превышать диффузионное выделение на несколько десятичных порядков. Теоретического рассмотрения этого эффекта пока не существует. Нами разработана теория, которая учитывает диффузию молекул метана в толще болота. Предполагается, что пузыри образуются в тех местах, где диффузионная способность молекул колеблется в сторону меньших значений. В этих местах метан накапливается и дает жизнь маленьким пузырькам. Затем эти пузырьки могут расти, захватывая молекулы метана из окружающей среды. В разрабатываемой модели предполагается, что скорость процесса роста описывается формулой Максвелла, т. е. она пропорциональна диффузии молекул метана и радиусу частицы. При достижении критического размера пузырь начинает всплывать и достигает поверхности болота, где взрывается, выбрасывая свое содержимое наружу. Этот процесс происходит гораздо быстрее, чем рост частиц. Поэтому кинетика образования и роста пузырьков может быть описана уравнением неразрывности с источником мелких пузырьков и мгновенным поглощением очень крупных. В свою очередь, пузырьки являются источником молекулярного метана, который необходимо ввести в уравнение диффузии. Таким образом, оно содержит три члена: молекулярная диффузия; член потерь, связанный с захватом молекул метана пузырьками; член источника (скорость производства метана болотными бактериями).

### 6.5 Геоинформационное сопровождение

Проводились работы по реорганизации и переносу базы геопространственных данных на новую программную платформу NextGIS QGIS, которая представляет собой полнофункциональную настольную ГИС для создания и редактирования данных, производства карт, выполнения аналитических операций. Новое ПО было развернуто на серверной инфраструктуре ГЦ РАН. База геопространственных данных

ГИС «Арктика», сформированная в ходе исследований 2021–2022 гг., изначально представляла собой набор растровых и векторных слоев, а также ГИС-проектов в формате ESRI ArcGIS. Была осуществлена конвертация в проекты, совместимые с новым ПО с частичным сохранением оформления. Было повторно подготовлено и сконвертировано 15 растровых тематических слоев. Также был создан отдельный ГИС-проект для импорта 72 растровых слоев экстремальных значений климатических параметров. Для конвертации оформления этих слоев из формата ESRI ArcGIS в соответствующий формат NextGIS QGIS был использован модуль SLYR. В связи с переходом на новую программную платформу был повторно развернут геопортал «Арктика» (<https://arctic-gis.gcras.ru/>). Для создания портала использовался специализированный программный модуль NextGIS Connect, который позволяет публиковать веб-карты и управлять геоданными на ГИС-сервере. Новый интерфейс геопортала (рис. 6.6) позволяет осуществлять выбор доступных для визуализации слоев данных и просматривать таблицу атрибутов векторных слоев. В интерфейсе также доступен набор встроенных инструментов для взаимодействия со слоями: увеличение, измерение расстояний и площадей, печать и др. Встроен инструмент «Вертикальная шторка», который делает прозрачной область выбранного слоя, что позволяет удобно проводить анализ нескольких слоев без переключения между ними в дереве проекта. Доступ к геопорталу в настоящее время является ограниченным и требует авторизации. Дальнейшие работы будут направлены на совершенствование и расширение функционала развернутого геопортала «Арктика».



**Рисунок 6.6 – Пример отображения карты базы данных «Арктика» в NextGIS Web**





Обновлено программно-архитектурное решение единой геоинформационной системы интерактивных сферических визуализаций (ИСВ), обеспечивающее взаимодействие между сервером и т.н. клиентом-гиперглобусом. Многообразие таких геоинформационных систем рассмотрено в статье [Бояришинов, Захарова, 2022]. Максимальное концентрирование исполнения общих процессов обработки данных на сервере ИСВ предотвращает их тиражирование на клиентах ИСВ и предопределяет унифицированное взаимодействие. Реализована высокоуровневая обработка данных на основе API, а именно взаимодействие с объектами хранилища «Слайд» и «Группа слайдов» посредством регламентированного исполнения процедур. Процедуры реализованы на языке общего назначения Python и исполняются либо через веб-API, либо в локальной среде пользователя. Пополнена новыми визуализациями база тематических данных по АЗРФ, располагаемая в виде слайдов ИСВ и их групп на экспериментальном стенде – веб-сервере по адресу [data.sph.gcras.ru/resources/Arctic](http://data.sph.gcras.ru/resources/Arctic). Набор динамических слайдов «Геомагнитные возмущения» объединяет получаемые в режиме реального времени данные по прогнозу интенсивности полярных сияний, времени суток и траекториям авиарейсов. Слайд «Объединённый каталог землетрясений АЗРФ» преобразует в анимационную ИСВ информацию о 45 793 сейсмических событиях за период с 1962 по 2022 гг.

### **6.6 III Всероссийская школа молодых ученых**

Организована III Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» с 5 по 8 июня 2022 г. в Подмоскowie на базе отеля «PALMIRA GARDEN HOTEL & SPA» (<https://school2023.gcras.ru/>). Школа собрала молодых ученых из различных регионов России и зарубежья, включая города Петропавловск-Камчатский, Владивосток, Якутск, Томск, Новосибирск, Бишкек (Киргизия), Тюмень, Екатеринбург, Уфа, Казань, Сыктывкар, Владикавказ, Архангельск, Москва и Санкт-Петербург. Программа Школы включала лекции ведущих российских ученых и практические занятия по направлениям геофизики, климатологии, океанологии, дистанционного зондирования, геоинформатики и системного анализа, биологии, экологии, транспорта и других смежных дисциплин. С лекциями и семинарами выступили 26 известных российских ученых. В качестве слушателей в школе приняли участие 41 молодой ученый в возрасте до 35 лет включительно. Всего в мероприятии приняли участие 73 участников (рис. 6.7).



**Рисунок 6.7 – Участники III Всероссийской школы молодых ученых «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике»**

#### **Список использованных источников**

- Sidorov, R. V., Kaban, M. K., Soloviev, A. A. et al. (2021). Sedimentary basins of the eastern Asia Arctic zone: new details on their structure revealed by decompensative gravity anomalies. *Solid Earth*, 12(12), 2773-2788.
- Davies, J. H. Global map of solid Earth surface heat flow. *Geochem. Geophys. Geosy.*, 14, 4608–4622, 2013, doi:10.1002/ggge.20271.
- Lucazeau F. Analysis and mapping of an updated terrestrial heat flow data set. *Geochem. Geophys. Geosy.*, 20, 4001–4024, 2019, doi:10.1029/2019GC008389.
- Petrinin, A. G., Soloviev, A. A., Sidorov, R. V., Gvishiani, A. D. (2022). Inverse-forward method for heat flow estimation: case study for the Arctic region. *Russian Journal of Earth Sciences*, 5, <https://doi.org/10.2205/2022ES000809>.
- Bouligand C., Glen J. M. G., Blakely R. J. (2009). Mapping Curie temperature depth in the western United States with a fractal model for crustal magnetization. *J. Geophys. Res.*, 114, B11104, doi:10.1029/2009JB006494.
- 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.
- T. R. Moore, R. Knowles. Methane emissions from fen, bog and swamp peatlands in Quebec. *Biogeochemistry*, 11(1), 1990.
- J. D. Happell, J. P. Chanton, W. J. Showers. Methane transfer across the water air interface in stagnant wooded swamps of Florida: evaluation of mass transfer coefficients and isotropic fractionation. *Limnology and Oceanography*, 40(2):290–298, 1995
- Бояршинов Г. С., Захарова А. А. Системы интерактивной визуализации на основе гиперглобусов // *Геоконтекст*. – 2022. – Т. 10, № 1. – С. 64–76. URL: <https://geo-context.org/index.php/geocontext/issue/view/10>



## **7 Системная оценка сейсмической опасности центральной части Большого Кавказа (Осетинский сектор)**

Грант РФФИ № 23-17-00176

Регистрационный №: 123070600012-8

Руководитель: д.ф.-м.н. Б. А. Дзедобов

Ответственные исполнители: академик РАН А. Д. Гвишиани,  
чл.-корр. РАН В. Н. Татаринов  
д.т.н. В. И. Кафтан

### **7.1 Аналитический обзор существующих оценок сейсмической опасности Осетинского сектора Большого Кавказа и методов их построения**

Собрана информация об используемых методах и подходах к оценке сейсмической опасности (ОСР, ДСР, СМР и иные) территории Республики Северная Осетия – Алания (РСО-А). На ее основе выполнен анализ сейсмической опасности территории РСО-А и подготовлен обзор. Используются комплекты карт: ОСР-97, 2015 и 2016; ДСР (А, В, С, D) РСО-А; ДСР (А, В, С) Северного Кавказа; СМР городов и наиболее крупных населенных пунктов РСО-А; схема зон ВОЗ по Е. А. Рогожину; результаты распознавания мест возможного возникновения землетрясений, полученные как на базе классических алгоритмов, так и современных системных подходов.

Показано, что территория Республики Северная Осетия – Алания относится к районам высокой сейсмической опасности. Так, например, центральная часть города Владикавказа расположена в пределах зон 7–8-балльной интенсивности, 9 балльные зоны выделяются вдоль западной и восточной его окраин. В городах Алагир и Беслан выделены 7, 8 и 9-балльные зоны, 8–9-балльные зоны покрывают г. Дигора, вся территория г. Моздок расположена в 9-балльной зоне.

### **7.2 Обзор структурно-тектонической, геодинамической, геофизической изученности и современного напряженного состояния Осетинского сектора Большого Кавказа**

Выполнен анализ структурно-тектонической, геодинамической, геофизической и др. информации. Установлено, что новейшие движения отражаются в геометрии молодых разломов и выходах пород разного возраста на поверхность, в ориентировке хребтов, долин, в характерных особенностях гипсометрии, в форме изолиний мощностей земной коры, кристаллического фундамента, геофизических



полей, глубины границы Мохо. Сделан вывод, что оценка сейсмической опасности Осетинского сектора Большого Кавказа невозможна без учета геодинамической обстановки соседних районов, так как силовое воздействие граничных структур может быть причиной сейсмических явлений и на территории РСО-А.

Существует тесная пространственная, кинематическая и генетическая связь между процессом формирования альпийской складчато-надвиговой тектонической структуры Большого Кавказа и современными смещениями элементов земной коры региона, выявляемых средствами ГНСС. Современные деформации верхней части земной коры – продолжение ее мезозойского–кайнозойского этапа формирования.

Имеются гипотезы, отличающиеся от традиционной – о существовании в новейшее время поля субмеридионального тангенциального сжатия. В них утверждается, что ориентировка поля напряжений для Большого Кавказа претерпела изменение во времени. Характер перемещений по разрывным нарушениям создает сложную, но закономерную картину новейших геологических структур Большого Кавказа. Это необходимо учитывать при оценке сейсмической опасности, т. к. районы с высокой сейсмической активностью связаны с тектоническими разрывами северо-западной и субширотной ориентировки типа надвигов, образованных на более поздних этапах развития Кавказа. А северо-восточные и субширотные тектонические нарушения представляют собой зоны растяжения и релаксации напряжений.

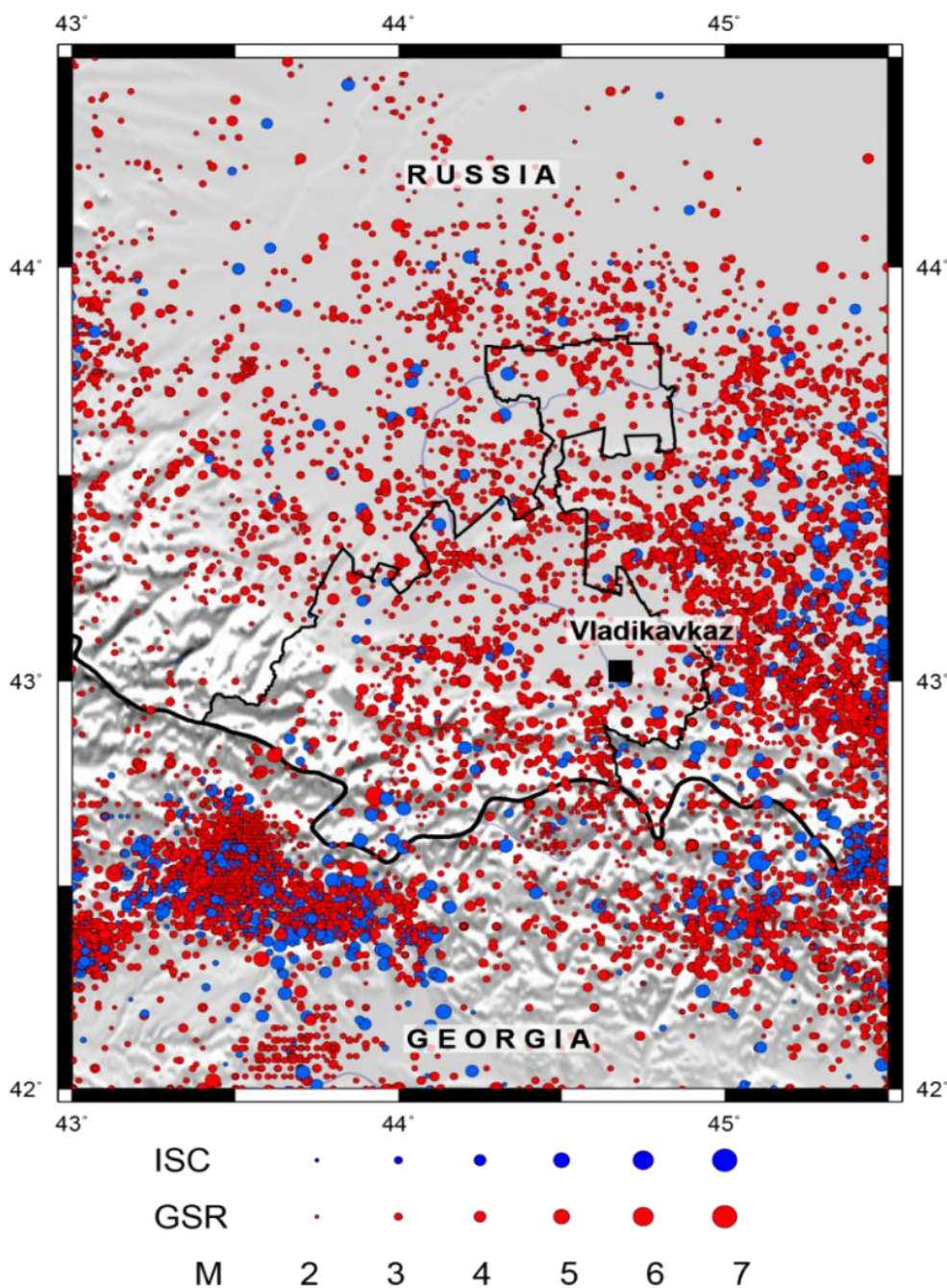
### **7.3 Объединенный унифицированный каталог землетрясений центрального сектора Большого Кавказа на основе регулярно обновляемых глобальных, национальных и региональных баз данных**

Создан наиболее полный и представительный каталог землетрясений Осетинского сектора Большого Кавказа с унифицированной магнитудной шкалой (рис. 7.1). Он представляет собой объединение данных о землетрясениях из каталогов ФИЦ ЕГС РАН (Кавказ, 1962–1991; Северный Кавказ, 1992–2017 и 2018–2021; Грузия, 1993–2004), каталога Кавказа, подготавливаемого Институтом геофизики АН Грузинской ССР (1971–1986), и каталога ISC (1962–2022). Каталог содержит информацию о 16 285 событиях за период 1962–2022 гг. Авторская унифицированная магнитудная шкала, сведенная к « $m_{\text{rhc1}}-M_w$ », является однородной. Каталог выложен в открытый доступ на сайте Мирового центра данных по физике твердой Земли:





<http://www.wdcb.ru/sep/seismology/Ossetia/Ossetia.ru.html>. Анализ каталога показал, что в изучаемом регионе уровень регистрации сильно изменялся во времени. Отмечен значительный недостаток событий в периоды 1967–1970 и 1988–1991 гг. Начиная с 1995 г. каталог полон для магнитуды 3.2, а с 2005 г. для магнитуды 2.2. Необходимо отметить, что в результате создания объединенного каталога было существенно пополнено начало афтершоковой последовательности Рачинского землетрясения.



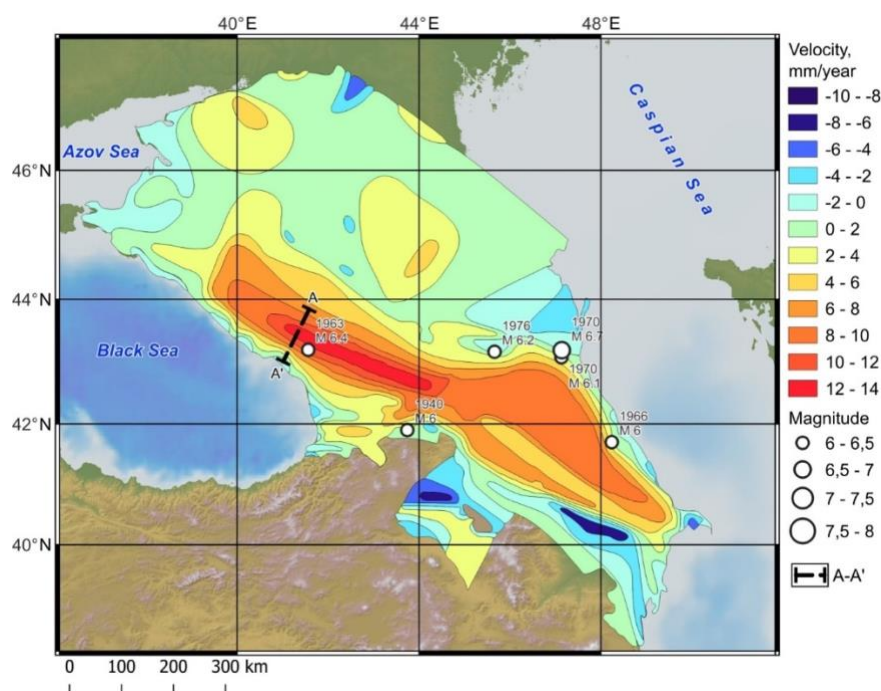
**Рисунок 7.1 – Карта эпицентров землетрясений с  $M \geq 2.0$  объединенного каталога Осетинского сектора Большого Кавказа за период 1962–2022 гг. GSR – объединение советских, российских и грузинских каталогов**



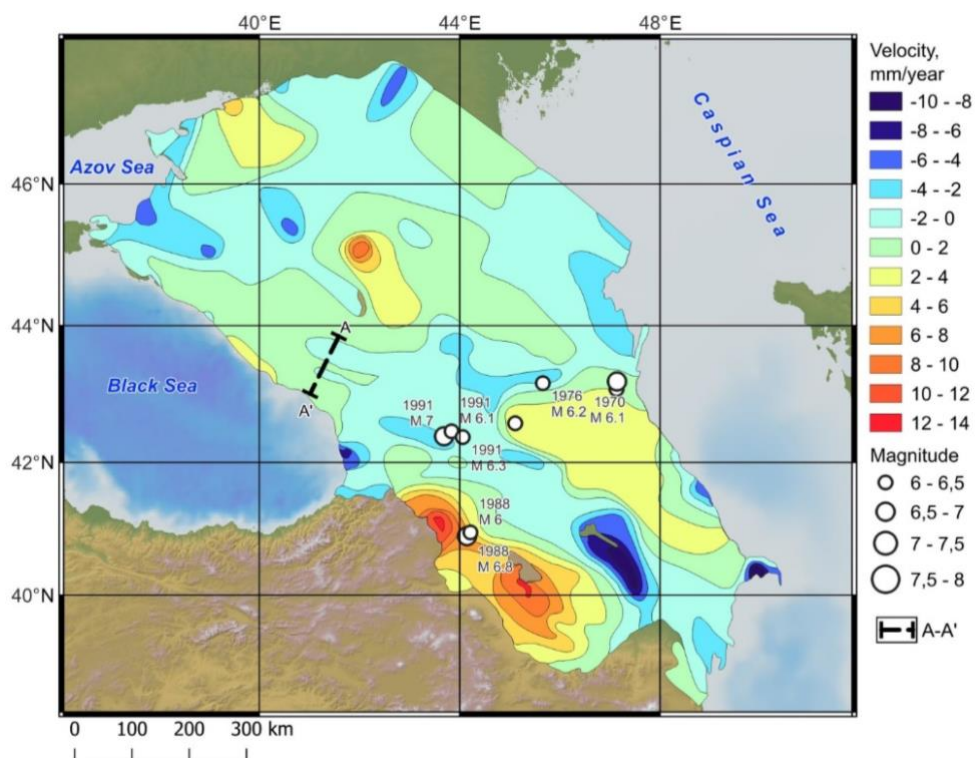
#### 7.4 Цифровые картографические модели современных движений и деформаций земной коры Большого Кавказа по результатам реанализа вековых геодезических наблюдений

Собранный картографический материал был систематизирован, оцифрован, и сведен в единый ГИС-проект на основе QGIS. При анализе выявлены периоды подъема земной поверхности: три эпизода – два на территории Большого Кавказа и один на Малом Кавказе (рис. 7.2–7.4). Реанализ вековых вертикальных движений показал, что подъемы пространственно коррелируют с положительными формами рельефа, а в межгорных впадинах наблюдаются опускания. Имеются различия в площадях поднятий на западе и востоке. Независимые исследования с использованием средств ГНСС качественно иным геодезическим методом в рамках Российско-Германского проекта WEGENR показали очень близкие результаты. Авторы выделяют зону Транскавказского поперечного поднятия, испытывающего подъем со скоростью порядка 1 см/год.

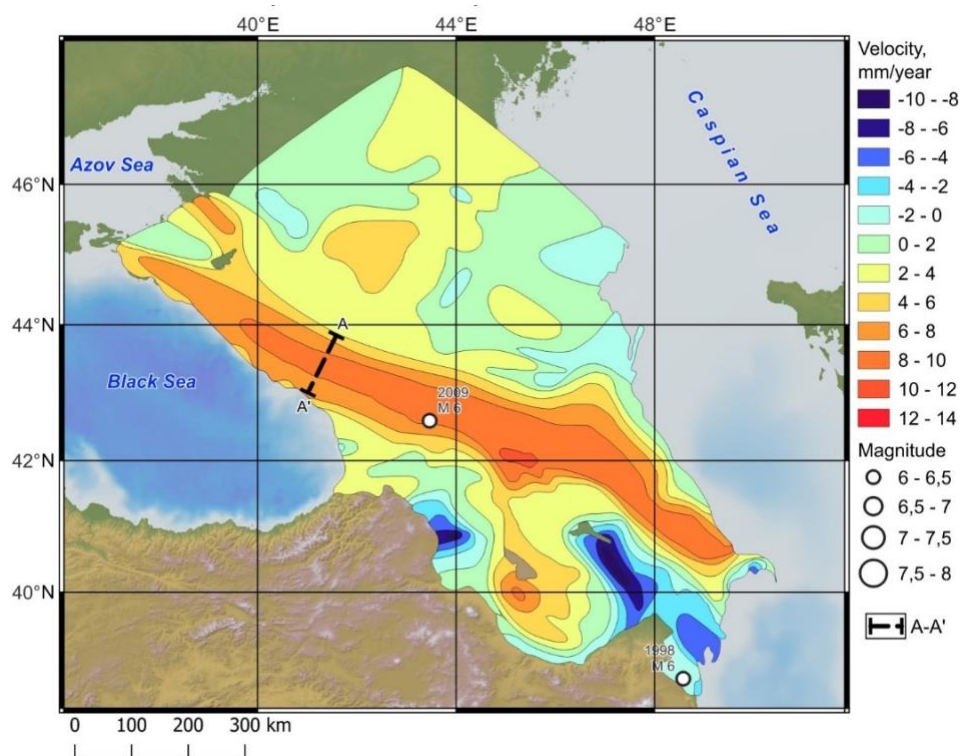
В рамках ряда проектов в 2007–2013 (KISL), 2005–2014 (TRSK), 2008–2014 (VLKK) годах получены скорости подъемов +3,6, +4,4, +2,5 мм/год, соответственно. Наибольшую скорость подъема демонстрирует станция TRSK, ближе всех расположенная к оси Большого Кавказского хребта.



**Рисунок 7.2 – Первый подъем Большого Кавказа и последующие за ним сильные землетрясения (по результатам нивелирования в период 1931–1959 гг.).  
A-A' – профиль точного нивелирования Зеленчук – Сухуми**



**Рисунок 7.3 – Подъем Малого Кавказа, период затишья подъема Большого Кавказа и последующие землетрясения (по результатам нивелирования в период 1959–1975 гг.)**



**Рисунок 7.4 – Второй подъем Большого Кавказа и последующие за ним сильные землетрясения (по результатам нивелирования в период 1975–1990 гг.)**



Предложены методика моделирования и алгоритм расчета полей СДЗК для переноса данных на единую регулярную сетку и построения цифровых картографических моделей смещений и деформаций в едином масштабе. На основе пространственных данных созданы слои для визуализации векторов движений, осей ориентации главных деформаций, угловой скорости вращения. Предложенная геометрия условных обозначений представлена в библиотеке PyGeoStrain в виде отдельных стилей и проекта в QGIS 3.

Библиотека файлов PyGeoStrain разработана в ГЦ РАН и доступна на платформе Zenodo (<https://doi.org/10.5281/zenodo.7948241>). Состав файлов библиотеки: DefoProj – ГИС-проект визуализации параметров деформаций территории Большого Кавказа в QGIS 3; DefoSymbols – стили параметров деформаций в QGIS 3, под результаты вычислений PyGeoStrain; Scripts – подпрограммы для деформационного анализа; DefoData – исходные данные для тестового расчета.

### **7.5 Проект полевых геолого-геофизических и геодезических исследований по результатам проведенных полевых рекогносцировочных работ**

В рамках подготовки к полевым работам 2023 г. выполнен поиск и обследование существующих геодезических пунктов государственных, научных и коммерческих сетей, а также закладка новых геодезических ГНСС-пунктов скального типа. Установлено, что в районе исследований присутствуют геодезические сети: ГАИШ МГУ и ВНЦ РАН; ГФИ ВНЦ РАН; постояннодействующие станции ГС РАН; коммерческие сети АО «ПРИН», EFT Group, АО «Русгеоком»; пункты государственной геодезической сети ППК «Роскадастр».

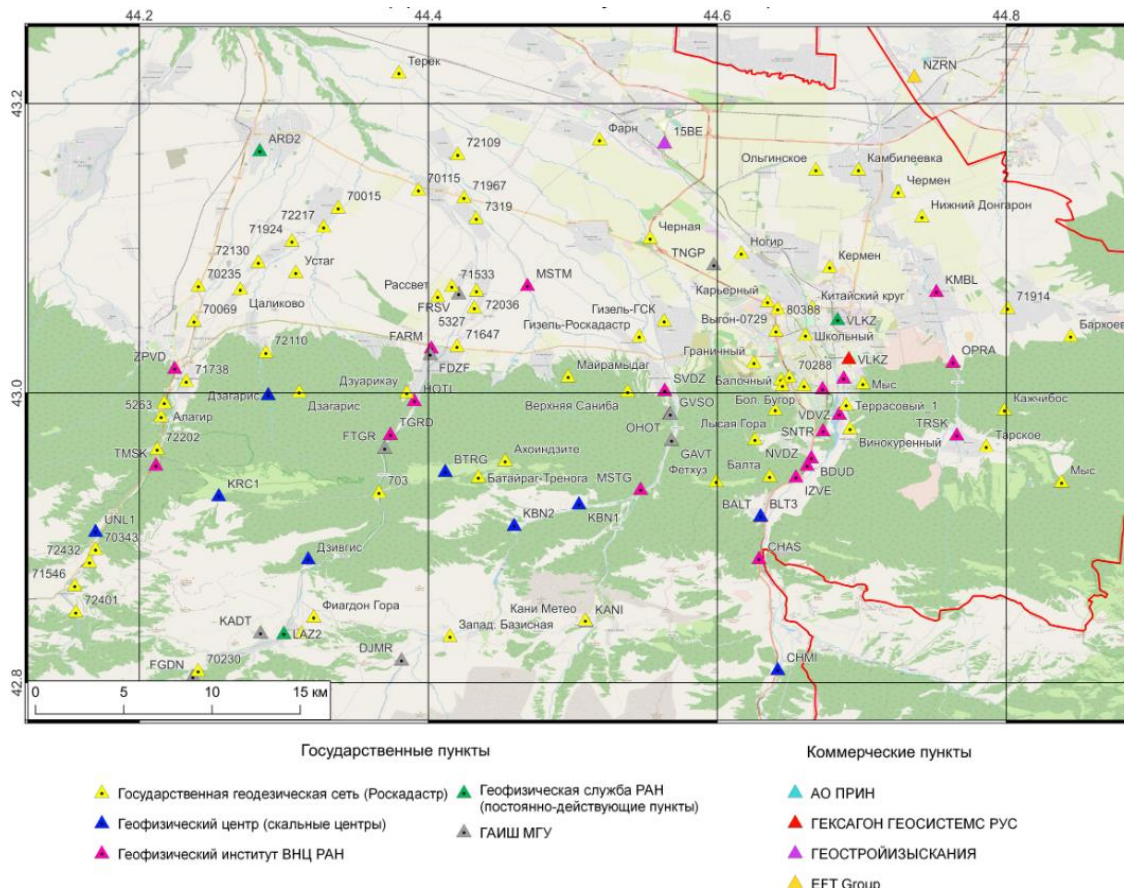
В результате рекогносцировочных работ задокументировано и оценено состояние 114 геодезических пунктов (21 – ГФИ ВНЦ РАН, 6 – ГАИШ МГУ, 87 – ППК «Роскадастр»), рис. 7.5.

При проектировании геодинамического полигона соблюдались следующие принципы:

- долговременная сохранность и стабильность положения центра в физико-географических условиях Кавказа;
- наличие качественного приема спутниковых сигналов (место должно находиться на возвышении, отсутствие препятствий и помех для приема радиосигнала);



- расположение в зоне Восточных ветвей Владикавказского разлома;
- оптимальная геометрия сети, т. е. увеличение числа треугольников близких к равносторонним;
- транспортная доступность.



**Рисунок 7.5 – Схема обследованных в результате рекогносцировки геодезических пунктов**

С 10 июня по 20 сентября 2023 г. экспедиционной группой ГЦ РАН проведен ряд полевых работ: рекогносцировочные работы для поиска и обследования геодезических пунктов, инженерно-геодезические работы для выбора места и закладки новых скальных центров. В результате заложены новые девять геодезических пунктов со скальным геодезическим центром. Подготовлен проект полевых наблюдений на 2023–2025 гг.

### **7.6 Модернизированный геодинимический полигон для наблюдений за современными движениями земной коры средствами ГНСС**

Для оптимизации геодезической сети и равномерного охвата системой мониторинга района в июне – сентябре 2023 г. были выполнены полевые работы по установке новых скальных геодезических центров.

Топографическая привязка участков и запись треков дорожной сети осуществлялись ГЛОНАСС/GPS-навигатором GARMIN eTrex10. В итоге было установлено 9 новых скальных центров – UNL1, KRC1, BTRG, KBN1, KBN2, BLT3, SNMI, DZIV, SUAD.

Сформирована геодезическая сеть для деформационного ГНСС-мониторинга восточной части и отдельно узла сочленения Восточной и Западной ветвей Владикавказского разлома (рис. 7.6). Сформированный полигон в настоящее время включает в себя 37 пунктов. При обработке результатов режимных наблюдений будут использоваться данные постояннодействующих станций ЕГС РАН и других коммерческих базовых станций.

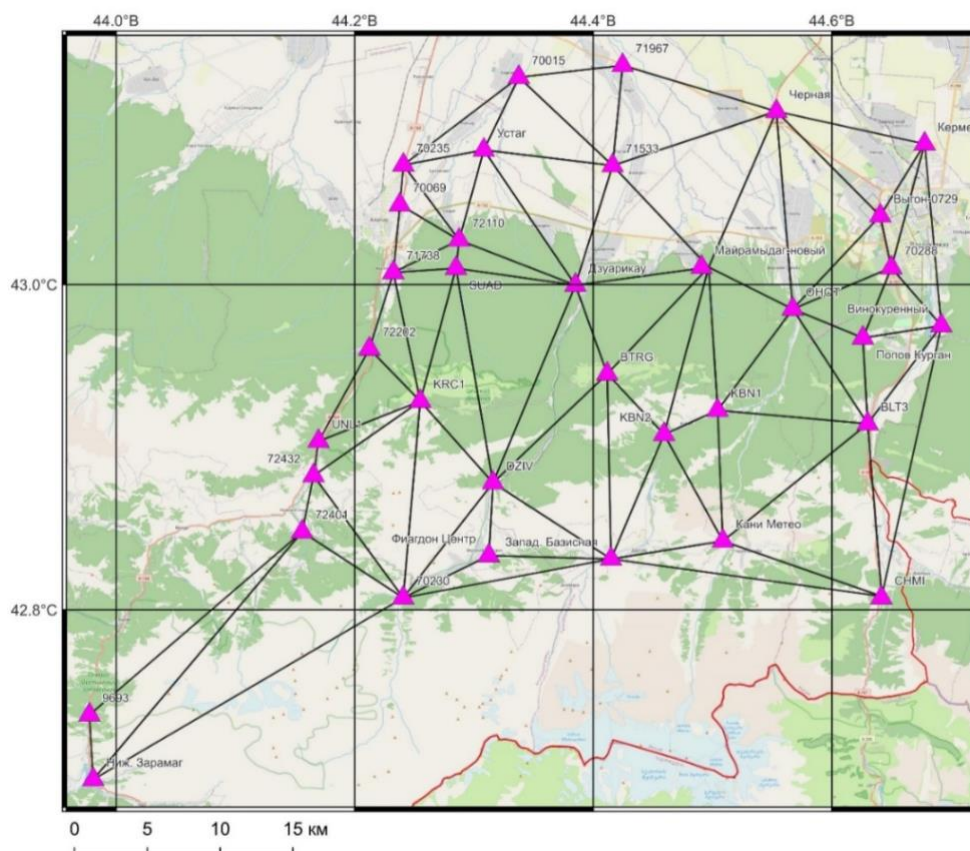


Рисунок 7.6 – Схема сформированной геодезической сети

### 7.7 Усовершенствованная методика полевого контроля точности ГНСС-измерений с учетом физико-географических особенностей района проведения наблюдений

Выполнены исследования по совершенствованию методики оценки точности ГНСС-измерений, связанные с особенностями горных физико-географических





условий. Методика полевого контроля точности комплектов ГНСС-аппаратуры, позволяет без эталонных построений проводить в полевых условиях контроль по единственной базовой линии. Ранее подобные эксперименты проводились для равнинных условий.

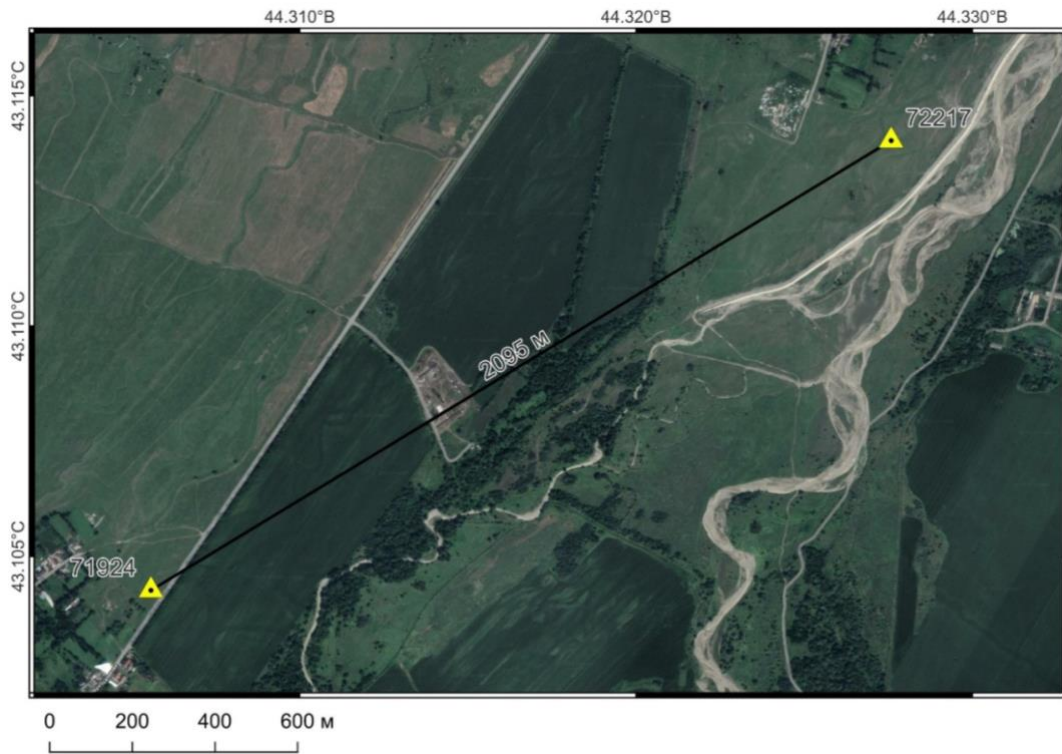
Важным аспектом является адаптация методики к новым типам ГНСС-антенн, ранее не исследованные, включая *choke-ring*, а также антенны китайского производства с китайскими платами CNCNAV, которые в настоящий момент все чаще применяются на территории России (к примеру, в коммерческих базовых сетях ГНСС-станций).

В 2023 г. впервые были выполнены экспериментальные исследования возможностей методики в горном районе на тестовой базовой линии длиной 2095 м (рис. 7.7). Контролю были подвергнуты шесть комплектов ГНСС-аппаратуры, планируемой для применения на Осетинском геодинамическом полигоне. Это антенны с обтекателем Javad GrAnt G3T (модель NGS JAV\_GRANT\_G3T+G – [https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadFile?file=JAV\\_GRANT-G3T%2BG\\_NONE.003](https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadFile?file=JAV_GRANT-G3T%2BG_NONE.003)), антенны *choke-ring* CHCC220GR (модель NGS CHCC220GR CHCD – [https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadFile?file=CHCC220GR\\_CHCD.003](https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadFile?file=CHCC220GR_CHCD.003)), стандартные антенны CHC AT312 (модель NGS CHCAT312 NONE – [https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadFile?file=CHCAT312\\_NONE.003](https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadFile?file=CHCAT312_NONE.003)).

Измерения парами комплектов выполнялись двухчасовыми сеансами с дискретностью регистрации сигнала – 30 секунд, маска возвышения была установлена на 5°. Обработка наблюдений по разработанному алгоритму позволила сравнить номинальные параметры ГНСС-антенн с их фактическими характеристиками и учесть фактические вариации фазового центра.

В сентябре 2023 г. на территории сформированного Осетинского геодинамического полигона выполнен первый цикл наблюдений за СДЗК средствами ГНСС. Схема расстановок ГНСС аппаратуры в 2023 г. отчетная и будет повторяться в следующих эпохах. В качестве опорных пунктов приняты три станции ЕГС РАН (ARD2, VLKZ, LAZ2) и четыре станции АО «ПРИН» (NCHK, NZRN, PRHL, VKAV). Измерения выполнялись в статическом режиме по фазе несущей частоты с интервалом регистрации 30 секунд. Маска угла возвышения принималась 5°. Для полевых измерений использовались семь комплектов ГНСС-приемников и антенн,

следующих моделей: PrinCe P5U с антенной choke-ring C220GR – 4 шт.; Javad Delta 3N с антеннами JAVGRANT-G3T и G5T – 3 шт.



**Рисунок 7.7 – Схема измерений базовой линии**

### **7.8 Результаты ГНСС-наблюдений за современными движениями земной коры**

Измерения были проведены с 20 по 29 сентября на 37 пунктах (рис. 7.6), включая скальные центры, установленные в рамках реализации настоящего проекта. Общее время проведения наблюдений на каждом пункте варьировалось от 4 до 12 часов.

Первичные данные ГНСС-измерений в настоящее время обрабатываются с использованием лицензионной программы MAGNET Office Tools. Режим постобработки включает использование спутниковых сигналов GPS и ГЛОНАСС, и точных эфемерид. Предварительные результаты показали, что основное количество СКО положения пунктов в плане группируется в диапазоне 2–3 мм, а по высоте в диапазоне 3–5 мм. Средние значения СКО в плане и по высоте составили 3 мм и 6 мм соответственно.



## 8 Международная деятельность ГЦ РАН в 2023 году

Сотрудники ГЦ РАН входят в состав руководящих органов международных научных организаций. Директор ГЦ РАН, член-корреспондент РАН А. А. Соловьёв является вице-председателем Комиссии по данным и информации (UCDI) Международного геодезического и геофизического союза (IUGG), российским национальным делегатом в Международной ассоциации геомагнетизма и аэрономии (IAGA) Международного геодезического и геофизического союза (IUGG). Научный руководитель ГЦ РАН академик 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.

ГЦ РАН ведет активное сотрудничество с зарубежными научными учреждениями. Геомагнитные обсерватории, данные которых использовались в исследовании, входят в международную сеть ИНТЕРМАГНЕТ (<https://intermagnet.org>). ГЦ РАН выполняет функции информационного узла межрегионального сегмента сети ИНТЕРМАГНЕТ, в который входят Россия, Беларусь, Армения и Казахстан. Со всеми институтами РФ, которые обеспечивают функционирование магнитных обсерваторий (ИЗМИРАН, ИДГ РАН, ИФЗ РАН, ФИЦКИА УрО РАН, ИНГГ СО РАН, ИКФИА СО РАН, ИСЗФ СО РАН, ИКИР ДВО РАН и др.), заключены соглашения о научном сотрудничестве и обмене геофизическими данными. Также, в рамках соглашений о научном сотрудничестве коллектив исполнителей темы госзадания проводит совместные наблюдения и последующую обработку данных, регистрируемых Центром геофизического мониторинга НАН Беларуси, Институтом геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН Республики Армения, Институтом ионосферы (Казахстан) и Институтом сейсмологии им. Г. О. Мавлянова НАН Республики Узбекистан.

В мае 2023 г. состоялся рабочий визит делегации ГЦ РАН в Китай с целью развития сотрудничества с научно-исследовательскими институтами в области космического и наземного мониторинга геофизических полей. Главная часть научной программы проходила в Институте геофизики Китайской сейсмологической службы (Institute of Geophysics, CEA – IGPCSEA) в г. Пекине, который обеспечивает функционирование всей сети геомагнитных обсерваторий в Китае. Отдельный интерес представляла магнитометрическая аппаратура обсерваторского класса, разработанная



в институте. Эти приборы являются в целом перспективными для оснащения российских обсерваторий, однако вызывает вопросы их соответствие высшим стандартам ИНТЕРМАГНЕТ. Для того, чтобы убедиться в надлежащем качестве получаемых данных, была достигнута договоренность о тестовом размещении одного комплекта магнитометрической аппаратуры IGRCEA на магнитной обсерватории сети ИНТЕРМАГНЕТ «Санкт-Петербург» на длительный период (0,5–1 год). По приглашению IGRCEA российская делегация посетила Пекинскую комплексную обсерваторию, на которой среди прочего была представлена немагнитная камера для калибровки магнитометров и цех для их производства. 21 мая состоялась поездка на геомагнитную обсерваторию Цзинхай в г. Тяньцзинь, где были продемонстрированы обсерваторские павильоны и приборы для высокоточной регистрации параметров магнитного поля Земли. На станции прошло подробное обсуждение особенностей подготовки окончательных данных китайскими коллегами. Обсуждались пути по улучшению качества итоговых данных и другие общие научные интересы. По результатам визита подписано соглашение о научном сотрудничестве, включающее в себя обмен методами обработки магнитных данных, совместное развитие научно-методических подходов к проведению долгосрочных наблюдений геомагнитного поля.

В текущей работе в рамках государственного задания ГЦ РАН были использованы данные сопряженных станций в Антарктике и Гренландии, полученные от Университета Вирджинии (The Virginia Tech, США) и Датского метеорологического института (Копенгаген): <http://mist.nianet.org>.

В 2023 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.

На сайте Мирового центра данных по солнечно-земной физике Геофизического центра РАН (МЦД по СЗФ ГЦ РАН) опубликован «Каталог солнечных вспышечных событий, зарегистрированных в линии На за период 1972–2017 гг.», составленный сотрудниками ИСЗФ СО РАН. Каталог опубликован вместе с описаниями на русском и английском языках.

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, публикующим наиболее важные научные результаты российских ученых. 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. Соловьёв, П. Кабат (Швейцария) и другие ведущие ученые в области наук о Земле из разных стран.

Важной частью международной деятельности ГЦ РАН является участие сотрудников в международных программах, семинарах, школах, которые состоялись в 2023 г.:

- В мае 2023 г. директор ГЦ РАН А. А. Соловьёв выступил с лекцией о последних достижениях в области геомагнитных исследований с использованием высокоточных наблюдений магнитного поля Земли на международном семинаре, организованном на базе факультета геодезии и геоматики Уханьского университета (КНР).
- На международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов–2023», проходившей в МГУ имени М. В. Ломоносова сотрудники лаборатории геофизических данных ГЦ РАН представили доклад «Строение Карской астроблемы по геофизическим данным».
- Сотрудники лаборатории геодинамики ГЦ РАН стали победителями XIX Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования», где они выступали в секции «Современные технологии обеспечения строительства зданий, сооружений и объектов минерально-сырьевого комплекса».
- Делегация Геофизического центра РАН в составе директора чл.-корр. РАН А. А. Соловьёва, научного руководителя академика РАН А. Д. Гвишиани и заместителя директора по науке д.ф.-м.н. Б. А. Дзедоева посетила XIV Международный салон средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность – 2023», организованный МЧС России согласно распоряжению Правительства Российской Федерации. В рамках визита достигнута договоренность о проведении международного научного семинара, посвященного природным опасностям в Арктике.
- В октябре 2023 г. сотрудники ГЦ РАН приняли участие в III Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений». В качестве организатора выступил Институт теории прогноза землетрясений и





математической геофизики (ИТПЗ РАН).

## 9 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 усложнившуюся внешнеполитическую ситуацию деятельность секций НГК РАН в 2023 г. была направлена на подготовку к участию российских ученых и специалистов в крупных научных мероприятиях, проводимых под эгидой IUGG и его ассоциаций:

- Научная ассамблея IAVCEI, Роторуа, Новая Зеландия, 30 января – 3 февраля 2023 г. (<https://confer.eventsair.com/iavcei2023/>);
- 28-я Генеральная ассамблея IUGG, Берлин, Германия, 11–20 июля 2023 г. (<https://www.iugg2023berlin.org/>).

В рамках подготовки к 28-й Генеральной ассамблее IUGG Секцией геодезии НГК РАН был подготовлен национальный доклад [*Savinykh and Kaftan, 2023*], обобщающий исследования в области геодезии в России за предшествующие четыре года. Четырехлетний национальный доклад был также подготовлен Секцией метеорологии и атмосферных наук [*Mokhov and Krivolutsky, 2023*]. В докладе представлена информация о результатах атмосферных, метеорологических и климатических исследований в России в 2019–2022 гг. на основе отчетов 10 национальных комиссий Секции.

Вследствие введенных в 2022 г. со стороны ряда стран ограничений в отношении российского банковского сектора стала невозможной оплата ежегодного взноса России в IUGG. Вопрос оплаты ежегодных взносов в международные научные организации находится на контроле Президента РАН. В течение 2023 г. управление международного сотрудничества РАН вело соответствующую работу по обеспечению оплаты взноса в IUGG. Аппарат НГК РАН продолжил деятельность по сохранению



полноценного членства России в IUGG, а также по обеспечению участия российских ученых в мероприятиях, проводимых под эгидой Союза.

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.

#### **Список использованных источников**

Savinykh V. P., Kaftan V. I. (Eds.) National Report for the IAG of the IUGG 2019–2022 // Geoinformatics Research Papers. – 2023. – Vol. 11. – No. 1. – BS1002. – 69 pp. DOI: 10.2205/2023IUGG-RU-IAG

Mokhov I. I., Krivolutsky A. A. (Eds.) Russian National Report: Meteorology and Atmospheric Sciences: 2019–2022: for the XXXVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (Berlin, Germany, July 11–20, 2023). – Moscow: MAKS Press, 2023. – 440 p. DOI: 10.29003/m3460.978-5-317-07017-5



## Список основных научных публикаций за 2023 год

### Монографии

1. Гвишиани А. Д., Розенберг И. Н., Соловьёв А. А., Костяной А. Г., Гвоздик С. А., Серых И. В., Краснощёков Р. И., Сазонов Н. В., Дубчак И. А., Попов А. Б., Костяная Е. А., Гвоздик Г. А. Атлас климатических изменений основных гидрометеорологических параметров западной части российской Арктики за период 1950–2021 гг. // Исследования по геоинформатике: труды геофизического центра РАН. 2023 Т. 11 № 1. С. 467. DOI: 10.2205/2023-Atlas-cc
2. Гетманов В. Г., Гвишиани А. Д., Соловьёв А. А. Методы цифровой обработки матричных временных рядов наблюдений потоков мюонов для геофизических исследований // М.: РАН. 2023. 184 с.
3. Кафтан В. И., Непоклонов В. Б., Побединский Г. Г., Яблонский Л. И. Научная и публикационная деятельность // Информационный бюллетень Российского общества геодезии, картографии и землеустройства. 2023. С. 66–75.
4. Gorshkov V., Gusev I., Dokukin P., Kaftan V., Malkin Z., Mazurova E., Mikhailov V., Pasynok S., Pobedinsky G., Popadyev V., Savinykh V., Shestakov N., Stoliarov I., Sugaipova L., Zotov L. National report for the International Association of Geodesy of the International Union of Geodesy and Geophysics 2019–2022 // Geoinformatics Research Papers. 2023. V. 11 № 1. P. 1–69. DOI: 10.2205/2023IUGG-RU-IAG; 10.2205/2023IUGG-RU-IAG
5. Попов С. В., Головина Л. А., Палку Д. В., Гончарова И. А., Пинчук Т. Н., Ростовцева Ю. В. и др. Неоген Восточного Паратетиса: региоярусная шкала, опорные разрезы и проблемы корреляции. [Тр. ПИН РАН. Т. 299.] // М.: РАН. 2023. 512 с.
6. Ростовцева Ю. В. Циклостратиграфические исследования средне-верхнемиоценовых отложений восточного Паратетиса. [В кн.: Попов С. В. и др. (ред.) Неоген Восточного Паратетиса: региоярусная шкала, опорные разрезы и проблемы корреляции. Тр. ПИН РАН. Т. 299.] // М.: РАН. 2023. С. 431–458.

### Статьи в журналах

1. Agayan S., Dzeboev B., Bogoutdinov Sh., Belov I., Dzeranov B., Kamaev D. Development of the algorithmic basis of the FCAZ method for earthquake-prone areas recognition // Applied Sciences. 2023. V. 13 № 4. DOI: 10.3390/app13042496
2. Agayan S., Kamaev D., Bogoutdinov S., Aleksanyan A., Dzeranov B. Time Series Analysis by Fuzzy Logic Methods // Algorithms. 2023. V. 16 № 5. P. 1–36. DOI: 10.3390/a16050238
3. Agayan S., Bogoutdinov S., Sidorov R., Soloviev A., Kamaev D., Aleksanyan A., Dzeranov B. Regression derivatives and their application in the study of magnetic



- storms // Russian Journal of Earth Sciences. 2023. V. 23 № 6. P. 1–22. DOI: 10.2205/2023ES000889
4. Акматов Д. Ж., Маневич А. И., Татаринев В. Н., Шевчук Р. В., Морозов О. А. Трёхмерная структурно-тектоническая модель Енисейского участка (Нижнеканский массив) // Горный журнал. 2023. № 1. С. 69–74. DOI: 10.17580/gzh.2023.01.1
  5. Алёшин И. М., Дорожков В. В., Дьяков В. В., Передерин Ф. В., Холодков К. И. Влияние погодных условий на БПЛА-измерения // Динамические процессы в геосферах. 2023. Т. 15 № 2. С. 89–98. DOI: 10.26006/29490995\_2023\_15\_2\_891
  6. Морозов А. Н., Ваганова Н. В., Алешин И. М. Сейсмическая изученность западного сектора Российской Арктики // Геофизические процессы и биосфера. 2023. Т. 22 № 4. С. 67–80. DOI: 10.21455/GPB2023.4-7; 10.1134/S0001433823110026
  7. Goev A. G., Fedorov A. V., Fedorov I. S., Asming V. E., Aleshin I. M., Yudochkin N. A. The present state of the Kola peninsula broadband seismic network // Russian Journal of Earth Sciences. 2023. V. 23 № 6. P. 1–8. DOI: 10.2205/2023ES000872
  8. Белов И. О., Соловьёв А. А., Пилипенко В. А., Добровольский М. Н., Богоутдинов Ш. Р., Калинин К. Д. Онлайн система для анализа токов в верхней ионосфере по данным спутников SWARM. Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. С. 121–133. DOI: 10.12737/szf-94202314; 10.12737/stp-94202314
  9. Бояршинов Г. С., Захарова А. А. Системы интерактивной визуализации на основе гиперглобусов // Геоконтекст. 2023. Т. 10 № 1. С. 64–76.
  10. Воробьёв А. В., Воробьёва Г. Р. Подход к обнаружению и устранению артефактов пространственных изолиний в приложениях веб-ГИС // Компьютерная оптика. 2023. Т. 47 № 1. С. 126–137. DOI: 10.18287/2412-6179-СО-1127
  11. Воробьёв А. В., Соловьёв А. А., Пилипенко В. А., Воробьёва Г. Р., Гайнетдинова А. А., Лапин А. Н., Белаховский В. Б., Ролдугин А. В. Локальная диагностика наличия полярных сияний на основе интеллектуального анализа геомагнитных данных // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9 № 2. С. 26–34. DOI: 10.12737/stp-92202303; DOI: 10.12737/szf-92202303
  12. Воробьёв А. В., Лапин А. Н., Воробьёва Г. Р. Программное обеспечение для автоматизированного распознавания и оцифровки архивных данных оптических наблюдений полярных сияний // Информатика и автоматизация. 2023. Т. 22 № 5 С. 1177–1206. DOI: 10.15622/ia.22.5.8
  13. Воробьёв А. В., Воробьёва Г. Р. Геоинформационная система динамической пространственной кластеризации распределенных источников данных. // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 64. С. 61–73. DOI: 10.17223/19988605/64/7



14. Vorobev A., Soloviev A., Pilipenko V., Vorobeva G. Internet application for interactive visualization of geophysical and space data: approach, architecture, technologies // *Journal of the Earth and Space Physics*. 2023. V. 48 № 4 P. 151–160. DOI: 10.22059/JESPHYS.2023.350281.1007467
15. Vorobieva I. A., Gvishiani A. D., Shebalin P. N., Dzeboev B. A., Dzeranov B. V., Skorkina A. A., Sergeeva N. A., Fomenko N. A. Integrated earthquake catalog II: The Western sector of the Russian Arctic // *Applied Sciences*. 2023. V. 13 № 12. P. 1–24. DOI: 10.3390/app13127084
16. Vorobieva I. A., Gvishiani A. D., Shebalin P. N., Dzeboev B. A., Dzeranov B. V., Sergeeva N. A., Kedrov E. O., Barykina Y. V. Integrated Earthquake Catalog III: Gakkel Ridge, Knipovich Ridge and Svalbard Archipelago // *Applied Sciences*. 2023. V. 13 № 22. P. 1–32. DOI: 10.3390/app132212422
17. Гвишиани А. Д., Панченко В. Я., Никитина И. М. Системный анализ Больших данных для наук о Земле // *Вестник РАН*. 2023. Т. 93 № 6. С. 518–525. DOI: 10.31857/S0869587323060087
18. Гвишиани А. Д., Никитина И. М., Алёшин И. М. Большие данные как продукт обогатительной фабрики: реальность и перспективы на примере угля // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2023. Т. 23 № 3. С. 1–16. DOI: 10.2205/2023es000862
19. Гвишиани А. Д., Розенберг И. Н., Соловьёв А. А. Геофизические процессы в Арктике и системный анализ их воздействия на функционирование и развитие транспортной инфраструктуры // *Мир транспорта*. 2023. Т. 21 № 3 С. 6–34. DOI: 10.30932/1992-3252-2023-21-3-1
20. Gvishiani A. D., Odintsova A. A., Rovenskaya E. A., Boyarshinov G. S., Belov I. O., Dobrovolsky M. N. COVID-19 pandemic course 2020–2022: description by methods of mathematical statistics and discrete mathematical analysis // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2023. V. 23 № 2. P. 1–20. DOI: 10.2205/2023ES000839
21. Gvishiani A. D., Rozenberg I. N., Soloviev A. A., Krasnoperov R. I., Shevaldysheva O. O., Kostianoy A. G., Lebedev S. A., Dubchak I. A., Sazonov N. V., Nikitina I. M., Gvozdik S. A., Sergeev V. N., Gvozdik G. A. Study of the impact of climatic changes in 1980–2021 on railway infrastructure in the Central and Western Russian Arctic based on Advanced Electronic Atlas of hydrometeorological parameters (Version 2, 2023) // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2023. V. 23 № 5. P. 1–21. DOI: 10.2205/2023ES000882
22. Гвишиани А. Д., Воробьёва И. А., Шебалин П. Н., Дзебоев Б. А., Дзеранов Б. В., Скоркина А. А. Системная конструкция объединенного калиброванного каталога землетрясений восточного сектора АЗРФ // *Выездное заседание Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики «Системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций в АЗРФ» (6–8 апреля 2023 г., г. Мурманск, г. Апатиты) в рамках научно-практической конференции «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации», 2023.*





23. Getmanov V. G., Chinkin V. E., Gvishiani A. D., Dobrovolsky M. N., Sidorov R. V., Soloviev A. A., Yashin I. I., Dmitrieva A. N., Kovylyayeva A. A. Recognition of local anisotropies of muon fluxes using normalized variations for matrix observations of the URAGAN hodoscope // Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications. 2023. V. 33 № 2. P. 192–202. DOI: 10.1134/S1054661823020049
24. Gorshkov V., Gusev I., Dokukin P., Kaftan V., Malkin Z., Mazurova E., Mikhailov V., Pasyonok S., Pobedinsky G., Popadyev V., Savinykh V., Shestakov N., Stoliarov I., Sugaipova L., Zotov L. National report for the International Association of Geodesy of the International Union of Geodesy and Geophysics 2019–2022 // Geoinformatics Research Papers. 2023. V. 11 № 1. P. 1–69. DOI: 10.2205/2023IUGG-RU-IAG
25. Дзэбоев Б. А. Распознавание мест будущих землетрясений в восточном секторе АЗРФ // Выездное заседание Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики «Системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций в АЗРФ» (6–8 апреля 2023 г., г. Мурманск, г. Апатиты) в рамках научно-практической конференции «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации». 2023.
26. Добровольский М. Н., Добровольский Н. Н., Добровольский Н. М. Области сходимости дзета-функции некоторых моноидов натуральных чисел // Чебышевский сборник. 2022. Т. 23 № 2. С. 154–164. DOI: 10.22405/2226-8383-2023-24-154-164
27. Родионов А. В., Добровольский М. Н., Добровольский Н. Н., Добровольский Н. М. Интерполяция для системы концентрических сеток // Чебышевский сборник. 2022. Т. 23 № 3. С. 95–121. DOI: 10.22405/2226-8383-2023-24-3-95-121
28. Голубков Г. В., Берлин А. А., Дьяков Ю. А., Карпов И. В., Лушников А. А., Степанов И. Г., Голубков М. Г. Увеличение ошибок позиционирования с ростом мощности сигнала глобальных навигационных спутниковых систем // Химическая физика. 2022. Т. 42 № 10. С. 64–76. DOI: 10.31857/S0207401X23100072
29. Забаринская Л. П., Ишков В. Н., Сергеева Н. А. Каталог геоэффективных вспышечных событий текущего 25 цикла в современном представлении // Космические исследования. 2023. Т. 61 № 6. С. 461–465. DOI: 10.31857/S0023420623600095
30. Кафтан В. И., Татаринев В. Н., Побединский М. Г., Шаяхметов Р. Ф., Маневич А. И., Шевчук Р. В., Лосев И. В. ГНСС наблюдения на комплексной геомагнитной обсерватории «Климовская» // Геофизические процессы и биосфера. 2023. Т. 22 № 2. С. 143–154. DOI: 10.21455/GPB2023.2-7
31. Кафтан В. И., Татаринев В. Н., Шевчук Р. В., Маневич А. И., Кафтан А. В. Экспериментальное исследование методики полевой оценки точности измерений ГНСС // Геодезия и картография. 2023. № 10. С. 10–21. DOI: 10.22389/0016-7126-2023-1000-10-12-21



32. Кафтан В. И., Татаринцов В. Н., Шевчук Р. В., Маневич А. И., Кафтан А. В. Экспериментальное исследование методики полевой оценки точности измерений ГНСС // Геодезия и картография. 2023.
33. Комитов Б. П., Кафтан В. И. Нижняя ионосфера и земные тектонические процессы // Геомагнетизм и аэронавигация. 2023. Т. 63 № 7. DOI: 10.1134/S0016793223070137
34. Komitov B. P., Kaftan V. I. The lower ionosphere and tectonic processes on Earth // Geomagnetism and Aeronomy. 2023. V. 63 № 7. P. 1038–1046. DOI: 10.1134/S0016793223070137; 10.1134/S0016793223070137
35. Dokukin P., Guvenaltin M. A., Kaftan V. I., Toker M. Co- and pre-seismic crustal deformations related to large earthquakes between years of 2009 and 2023 using continuous CORS-TR GNSS observations in the Anatolian diagonal (Turkey) // Russian Journal of Earth Sciences. 2023. V. 23 № 5. P. 1–12. DOI: 10.2205/2023ES000877; 10.2205/2023ES000877
36. Кедров Э. О. Поздравление Алексея Джерменовича Гвишиани с 75-летним юбилеем // Russian Journal of Earth Sciences. 2023. Т. 23 № 3. С. 1–7. DOI: 10.2205/2023es0004
37. Костарев Д. В., Пилипенко В. А., Козырева О. В., Маршалко Е. Е. Геомагнитный мониторинг для снижения риска для трубопроводов от космической погоды // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023 Т. 13 № 1. С. 38–49. DOI: 10.28999/2541-9595-2023-13-1-38-49
38. Kostianoy A. G., Lebedev S. A., Bocharov A. A., Kosolapov I. A., Tretiyak I. D., Volkov D. S., Grebenikov D. A., Kravchenko P. N. Histograms of the Caspian Sea hydrometeorological parameters // Russian Journal of Earth Sciences. 2023. V. 23 № 5. P. 1–19. DOI: 10.2205/2023ES02SI11
39. Krasnoperov R., Sidorov R., Grudnev A., Karapetyan J., Lazarev D. On the magnetic properties of construction materials for magnetic observatories // Applied Sciences. 2023. V. 13 № 4. P. 1–18. DOI: 10.3390/app13042246
40. Kudin D. V., Soloviev A. A., Matveev M. N., Shevaldysheva O. O. On a novel approach to correcting temperature dependencies in magnetic observatory data // Applied Sciences. 2023. V. 13 № 14. P. 1–18. DOI: 10.3390/app13148008
41. Lebedev S. A., Kostianoy A. G., Tretiyak I. D. Temporal variability of soil temperature in the North-West Arctic Zone of Russia. Part I: Interannual linear trends based on thermometer measurements and reanalysis data // Russian Journal of Earth Sciences. 2023. V. 23 № 5. P. 1–10. DOI: 10.2205/2023ES02SI12
42. Bocharov A. V., Lebedev S. A., Kravchenko P. N. Evaluation of changes in the scale and direction of thermal pollution flows in the Kalinin NPP cooling lakes from 1985 to 2020 // Russian Journal of Earth Sciences. 2023.
43. Малышков С. Ю., Кокорев О. Н., Гордеев В. Ф., Заведий Т. Ю., Поливач В. И., Маневич А. И. Оценка влияния нагнетания жидких радиоактивных отходов на



- изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород // Разведка и охрана недр. 2023. № 4. С. 43–48. DOI: 10.53085/0034-026X\_2023\_04\_43
44. Manevich A. I., Losev I. V., Avdonina A. M., Shevchuk R. V., Kaftan V. I., Tatarinov V. N. Modelling the horizontal crust velocity field of the Earth's in a regular grid from GNSS measurements // Russian Journal of Earth Sciences. 2023. V. 23 № 6. P. 1–22. DOI: 10.2205/2023ES000885
45. Маневич А. И., Шевчук Р. В., Лосев И. В., Кафтан В. И., Урманов Д. И., Шакиров А. И. Определение и визуализация параметров движений и деформаций земной поверхности по данным ГНСС-наблюдений в среде Python 3 и QGIS // Геодезия и картография. 2023. № 12. С. 17–26. DOI: 10.22389/0016-7126-2023-1002-12-17-26
46. Морозов В. Н., Маневич А. И., Татаринев В. Н. Ретроспективный прогноз места и интенсивности двух сильных коровых землетрясений в Иране и Индии // Вулканология и сейсмология. 2023. Т. 17 № 3. С. 69–78. DOI: 10.1134/S074204632370015X; DOI: 10.31857/S020303062370013X
47. Морозов В. Н., Маневич А. И. Сейсмотектонические следствия сильного землетрясения Маули (27.02.2010 г., Mw = 8,8) в Чили: численное моделирование напряженно-деформированного состояния западной окраины Южно-Американской литосферной плиты // Геотектоника. 2023. Т. 57 № 3. С. 78–93. DOI: 10.1134/S0016852123030044; DOI: 10.31857/S0016853X23030049
48. Белуховский В. Б., Пилипенко В. А., Сахаров Я. А., Селиванов В. Н. Рост геомагнитно-индуцированных токов во время корональных выбросов массы и высокоскоростных потоков солнечного ветра геомагнитных бурь в 2021 году // Известия РАН. Серия физическая. 2023 Т. 87 № 2. С. 271–277. DOI: 10.3103/S1062873822700988; DOI: 10.31857/S0367676522700478
49. Мартинес-Беденко В. А., Пилипенко В. А., Шиокава К., Касимова В. А. Поиск импульсных ультранизкочастотных электромагнитных предвестников землетрясений // Геофизические исследования. 2023 Т. 24 № 2 С. 5–24. DOI: 10.21455/gr2023.2-1
50. Pilipenko V., Kozyreva O., Hartinger M., Rastaetter L., Sakharov Ya. Is the global MHD modeling of the magnetosphere adequate for GIC prediction: the May 27–28, 2017 storm // Cosmic Research. 2023. V. 61 № 2. P. 120–132. DOI: 10.1134/S0010952522600044
51. Pilipenko V. A., Chernikov A. A., Soloviev A. A., Yagova N. V., Saharov Y. A., Kudin D. V., Kostarev D. V., Kozyreva O. V., Vorobiev A. V., Belov A. V. Influence of space weather on the reliability of the transport system functioning at high latitudes // Russian Journal of Earth Sciences. 2023. V. 23 № 2. P. 1–34. DOI: 10.2205/2023ES000824
52. Fedorov E. N., Mazur N. G., Pilipenko V. A., Vakhnina V. V. Generation of artificial ULF/ELF electromagnetic emission in the ionosphere by horizontal ground-



- based current system // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 2023. V. 128 № 12. P. 1–15. DOI: 10.1029/2023JA031590
53. Sakharov Ya. A., Zolotoi S. A., Merzly A. M., Sadovsky A. M., Petrukovich A. A., Yanakov A. T., Nikiforov O. V., Selivanov V. N. Evaluating the impact of magnetospheric disturbances on energy systems in middle latitudes // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. 2023. V. 87 № 7. P. 994–998. DOI: 10.3103/S1062873823702271
54. Skorkina A. A. Modeling of strong ground motion within the Baikal rift zone: the Irkutsk case // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2023. V. 23 № 4. P. 1–7. DOI: 10.2205/2023es000823
55. Соловьёв А. А. Некоторые задачи геомагнетизма, решаемые по данным наземных и спутниковых наблюдений // *Геология и геофизика*. 2023. Т. 64 № 9. С. 1330–1356. DOI: 10.2113/RGG20234560; DOI: 10.15372/GiG2023112
56. Соловьёв А. А. Геомагнитный эффект землетрясений  $M_w=7,5-7,8$  в Турции 6 февраля 2023 г. // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*. 2023. Т. 511 № 1. С. 78–85. DOI: 10.1134/S1028334X23600731; DOI: 10.31857/S2686739723600613
57. Khohklov A., Gvozdik G. The process of reconstructing the ancient magnetic field direction: a new approach to paleomagnetic data for a better estimate of accuracy // *Applied Sciences*. 2023. V. 13 № 8. P. 1–10. DOI: 10.3390/app13084717
58. Хохлов А. В., Гвоздик Г. А., Лебедев И. Е. Вопросы статистической точности палеонаправлений // *Ученые записки Казанского университета. Серия: естественные науки*. 2023. Т. 165 № 4. С. 513–523. DOI: 10.26907/2542-064X.2023.4.513-523
59. Chinkin V. E., Getmanov V. G., Gvishiani A. D., Yashin I. I., Kovylyaeva A. A. Analysis of MLP Structures for Geomagnetic Storm Recognition Based on Ground-Based Cosmic Ray Data // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. 2023. V. 87 № 7. P. 1074–1076. DOI: 10.3103/S1062873823702453
60. Ягова Н. В., Федоров Е. Н., Пилипенко В. А., Мазур Н. Г., Мартинес-Беденко В. А. Колебания геомагнитного поля в диапазоне 2,5–12 Гц в F-слое ионосферы по данным спутников SWARM // *Солнечно-земная физика*. 2023. Т. 9 № 1. С. 37–50. DOI: 10.12737/stp-91202305; DOI: 10.12737/szf-91202305
61. Ягова Н. В., Федоров Е. Н., Пилипенко В. А., Мазур Н. Г. Естественные электромагнитные колебания диапазона 4–12 Гц по наблюдениям на спутниках SWARM и сети магнитометров CARISMA // *Солнечно-земная физика*. 2023. Т. 9 № 3. С. 128–137. DOI: 10.12737/stp-93202314; DOI: 10.12737/szf-93202314
62. Ягова Н. В., Розенберг И. Н., Гвишиани А. Д., Сахаров Я. А., Гаранин С. Л., Воронин В. А., Пилипенко В. А., Дубчак И. А. Исследование влияния геомагнитной активности на функционирование систем железнодорожной автоматики в Арктической зоне России // *Арктика: экология и экономика*. 2023. Т. 13 № 3. С. 341–352. DOI: 10.25283/2223-4594-2023-3-341-352



## Конференции

1. Акматов Д. Ж. Оценка устойчивости геологической среды при подземной изоляции высокоактивных РАО, Нижне-Канский массив // XIX Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования». (21–27 мая 2023 г., г. Санкт-Петербург), 2023.
2. Алешин И. М. Беспилотная геофизика в Арктике // III Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (5–8 июня 2023 г., г. Видное, Московская область), 2023.
3. Габышев Д. Н., Ганapolьский Р. М. Преодоление проблемы затенения внутри капель воды с помощью морфологически зависимых резонансов // XIV Международная школа-конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвящённая 75-летию юбилею профессоров Я. Т. Султанаева и М. Х. Харрасова (8–11 октября 2023 г., г. Уфа), 2023.
4. Гвишиани А. Д. Системный анализ больших данных в Арктике // Выездное заседание Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики «Системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций в АЗРФ» (6–8 апреля 2023 г., г. Мурманск, г. Апатиты) в рамках научно-практической конференции «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации», 2023.
5. Гвишиани А. Д. Возможности приложений системного анализа и теории и практики больших данных к задачам МЧС России // Всероссийская научно-практическая конференция «Научные аспекты техносферной безопасности» (5–7 октября 2023 г., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург), 2023.
6. Дзедобоев Б. А. Оценка сейсмической опасности в арктическом регионе на базе методов распознавания образов // III Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (5–8 июня 2023 г., г. Видное, Московская область), 2023.
7. Дзедобоев Б. А. Оценка сейсмической опасности на основе распознавания мест возможного возникновения землетрясений // XVII Международная сейсмологическая школа «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных» (11–15 сентября 2023 г., г. Ташкент, Узбекистан), 2023.
8. Дзедобоев Б. А. Об оценке сейсмической опасности на базе распознавания мест возможного возникновения землетрясений // Всероссийская научно-практическая конференция «Научные аспекты техносферной безопасности» (5–7 октября 2023 г., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург), 2023.
9. Дзедобоев Б. А. О необходимости новых подходов к оценке сейсмической опасности // III Всероссийская научная конференция с международным





- участием «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений» (25–26 октября 2023 г., ИТПЗ РАН, г. Москва), 2023.
10. Дзедобоев Б. А. Распознавание мест будущих землетрясений в восточном секторе АЗРФ // Выездное заседание Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики «Системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций в АЗРФ» (6–8 апреля 2023 г., г. Мурманск, г. Апатиты) в рамках научно-практической конференции «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации», 2023.
  11. Забаринская Л. П., Сергеева Н. А. Пассивные континентальные окраины Северного Ледовитого океана // LIV (54) Тектоническое совещание «Тектоника и геодинамика земной коры и мантии: фундаментальные проблемы – 2023» (31 января – 4 февраля 2023 г., МГУ, г. Москва), 2023.
  12. Забаринская Л. П., Ишков В. Н., Сергеева Н. А. Каталог геоэффективных вспышечных событий текущего 25 цикла в современном представлении // 18 ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе» (6–10 февраля 2023 г., ИКИ РАН, г. Москва), 2023.
  13. Ишков В. Н. // XXVII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2023» (9–13 октября 2023 г., г. Пулково, г. Санкт-Петербург). 2023.
  14. Побединский Г. Г., Кафтан В. И., Еруков С. В. О выборе конструкции пунктов постоянно действующих дифференциальных геодезических станций // XI Международный симпозиум «Метрология времени и пространства». 2023.
  15. Кафтан В. И. Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений // III Всероссийская научная конференция с международным участием «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений» (25–26 октября 2023 г., ИТПЗ РАН, г. Москва). 2023.
  16. Krasnoperov R. I., Kudin D. V. Monitoring of geomagnetic activity in Russia // Семинар Факультета геодезии и геоматики Уханьского университета (17 мая 2023 г., Ухань, КНР), 2023.
  17. Krasnoperov R. I., Kudin D. V. Monitoring of geomagnetic activity in Russia // Семинар Института геофизики Китайской сейсмологической администрации (19 мая 2023 г., Пекин, КНР), 2023.
  18. Красноперов Р. И. Методы геоинформатики в изучении климатических изменений Арктики // III Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (5–8 июня 2023 г., г. Видное, Московская область), 2023.
  19. Бадулин С. И., Григорьева В. Г., Костяной А. Г., Лебедев С. А. Диагностика смешанного волнения во внутренних морях по данным спутника CFOSAT // 21 международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (13–17 ноября 2023 г., ИКИ РАН, г. Москва), 2023.



20. Кудин Д. В. Обработка данных наземных и спутниковых геомагнитных наблюдений в среде Jupyter Notebook на языке Python // III Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (5–8 июня 2023 г., г. Видное, Московская область), 2023.
21. Кудрявцев Н. Г., Кудин Д. В., Фролов И. Н., Сафонова В. Ю. О результатах электромагнитного и акустического мониторинга локальной грозовой активности в Республике Алтай // 6 всероссийская конференция Глобальная электрическая цепь (Борок, 2–6 октября 2023 г.), 2023. С. 93–94.
22. Лебедев С. А., Слободянюк А. О., Сакович А. В. Оценка точности расчёта высоты морской поверхности при отклонении оси антенны альтиметра от положения надира // 21 международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (13–17 ноября 2023 г., ИКИ РАН, г. Москва), 2023.
23. Лебедев С. А., Гусев И. В., Сакович А. В., Слободянюк А. О. Расчёт поправки на состояние подстилающей поверхности для обработки данных альтиметрических измерений российскими космическими аппаратами // 21 международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (13–17 ноября 2023 г., ИКИ РАН, г. Москва), 2023.
24. Бочаров А. В., Лебедев С. А., Кравченко П. Н. Оценка изменения теплового загрязнения озёр-охладителей Калининской АЭС с 1985 по 2020 год по данным сенсоров спутников серии Landsat // 21 международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (13–17 ноября 2023 г., ИКИ РАН, г. Москва), 2023.
25. Бочаров А. В., Лебедев С. А., Кравченко П. Н. Сравнение температуры воды в Каспийском море по измерениям с дрейфтеров с данными продукта Landsat Surface temperature // 21 международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (13–17 ноября 2023 г., ИКИ РАН, г. Москва), 2023.
26. Бочаров А. В., Кравченко П. Н., Лебедев С. А. Трансформация структуры теплового загрязнения озёр-охладителей Калининской АЭС // VII Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий» (15–19 мая 2023 г., Майкоп, Адыгея), 2023.
27. Волков Д. С., Косолапов И. А., Гребеников Д. А., Лебедев С. А. Создание региональной базы данных основных метеорологических параметров Каспийского моря по данным береговых метеостанций // VII Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий» (15–19 мая 2023 г., Майкоп, Адыгея), 2023.



28. Волков Д. С., Косолапов И. А., Гребеников Д. А., Лебедев С. А. Создание региональной базы данных основных метеорологических параметров Каспийского моря по данным спутниковой СВЧ-радиометрии // VII Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий» (15–19 мая 2023 г., Майкоп, Адыгея), 2023.
29. Косолапов И. А., Волков Д. С., Гребеников Д. А., Сахно А. В., Лебедев С. А. Анализ распределения параметров состояния атмосферы над Каспийским морем по данным СВЧ-радиометрии // 21 международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (13–17 ноября 2023 г., ИКИ РАН, г. Москва), 2023.
30. Сакович А. В., Лебедев С. А., Гусев Г. И., Слободянюк А. О. Расчёт поправки на состояние подстилающей поверхности для обработки данных альтиметрических измерений российскими космическими аппаратами // 21 международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (13–17 ноября 2023 г., ИКИ РАН, г. Москва), 2023.
31. Слободянюк А. О., Лебедев С. А., Гусев Г. И., Сакович А. В. Оценка точности расчёта высоты морской поверхности при отклонении оси антенны альтиметра от положения надира // 21 международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (13–17 ноября 2023 г., ИКИ РАН, г. Москва), 2023.
32. Косолапов И. А., Волкова Д. С., Гребеников Д. А., Сахно А. В., Лебедев С. А. Анализ распределения параметров состояния атмосферы над Каспийским морем по данным СВЧ-радиометрии // 21 международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (13–17 ноября 2023 г., ИКИ РАН, г. Москва), 2023.
33. Никитина И. М. Самовозгорание углей: причины, мониторинг и предупреждение // Всероссийская научно-практическая конференция «Научные аспекты техносферной безопасности» (5–7 октября 2023 г., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург), 2023.
34. Пилипенко В. А. Чем связаны Арктика и Антарктида? // III Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (5–8 июня 2023 г., г. Видное, Московская область), 2023.
35. Ростовцева Ю. В. Нефтегазовая литология Западно-Сибирской Арктики // III Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (5–8 июня 2023 г., г. Видное, Московская область), 2023.
36. Ростовцева Ю. В. Вторичные изменения верхнемиоценовых вулканических пеплов Восточной Грузии (Кахетия) // X международное совещание «Литогенез и минерагения осадочных комплексов докембрия и фанерозоя Евразии» (18–23 сентября 2023 г., г. Воронеж), 2023.



37. Rostovtseva Yu. V. et al. Secondary alterations in upper Miocene tuffs of Eastern Georgia // Mediterranean Geosciences Union Annual Meeting 2023 (MedGU-23). (26–30 November, 2023, Istanbul, Turkey), 2023.
38. Ростовцева Ю. В. Верхнемиоценовые пеплы Восточного Паратетиса (Грузия, Кахетия) // Научная конференция «Ломоносовские чтения – 2023», 2023.
39. Сергеева Н. А., Забаринская Л. П., Ишков В. Н. Наблюдательные данные для исследования солнечных явлений и космической погоды // Всероссийская конференция «Магнетизм и активность Солнца – 2023» (13–16 июня 2023 г., КрАО РАН), 2023.
40. Сергеева Н. А., Ишков В. Н., Забаринская Л. П. Информационные ресурсы мирового центра данных для прогноза текущего состояния околоземного космического пространства // Симпозиум «Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий». ПРОГНОЗ-2023 (29–31 мая 2023 г., ИЗМИРАН, г. Троицк), 2023.
41. Соловьёв А. А., Пилипенко В. А., Ягова Н. В., Воробьёв А. В., Кудин Д. В. Влияние космической погоды на функционирование транспортных и инженерных систем в высоких широтах РФ // Выездное заседание Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики «Системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций в АЗРФ» (6–8 апреля 2023 г., г. Мурманск, г. Апатиты) в рамках научно-практической конференции «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации». 2023.
42. Соловьёв А. А. Влияние космической погоды на функционирование транспортных и инженерных систем в высоких широтах Российской Федерации // Всероссийская научно-практическая конференция «Научные аспекты техносферной безопасности» (5–7 октября 2023 г., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург), 2023.
43. Соловьёв А. А. Геомагнитный эффект землетрясений  $M_w=7,5-7,8$  в Турции 6 февраля 2023 г. // III Всероссийская научная конференция с международным участием «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений» (25–26 октября 2023 г., ИТПЗ РАН, г. Москва), 2023.
44. Третьяк И. Д., Лебедев С. А. Межгодовая изменчивость температуры почвы в арктической зоне Северо-Запада России // VII Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий» (15–19 мая 2023 г., Майкоп, Адыгея), 2023.
45. Хохлов А. В., Гвоздик Г. А. Метод  $a_{95}$  по Фишеру и его альтернативы // Всероссийская конференция с международным участием «Палеомагнетизм и магнетизм горных пород» (2–7 октября 2023 г., г. Казань). 2023.
46. Шебалин П. Н., Гвишиани А. Д., Воробьёва И. А., Дзедобоев Б. А., Скоркина А. А., Дзеранов Б. В. О необходимости новых подходов к оценке сейсмической опасности // III Всероссийская научная конференция с международным



участием «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений» (25–26 октября 2023 г., ИТПЗ РАН, г. Москва), 2023.

47. Шевчук Р. В. Деформационный мониторинг средствами ГНСС на геодинамическом полигоне // XIX Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования». (21–27 мая 2023 г., г. Санкт-Петербург), 2023.
48. Sheremet I. A. Multigrammatical Framework for Digital Economy // Китайско-российский форум по цифровой экономике 2023 года, 2023.
49. Ягова Н. В. Влияние возмущений космической погоды на технологические системы в высоких широтах // III Всероссийская школа молодых учёных «Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике» (5–8 июня 2023 г., г. Видное, Московская область), 2023.

### Статьи в сборниках трудов конференций

1. Golubkov G. V., Berlin A. A., Dyakov Y. A., Karpov I. V., Lushnikov A. A., Manzhelii M. I., Stepanov I. S., Wang P.-K., Golubkov M. G. Dependence of positioning errors on the signal power of global navigation satellite systems // «Atmosphere, ionosphere, safety». Proceedings of VIII International Conference. (Eds. O. P. Borchevskina, M. G. Golubkov and I. V. Karpov). (Kaliningrad, 2023) 2023. С. 256–259.
2. Костяной А. Г., Лебедев С. А. Создание региональной базы данных основных метеорологических параметров Каспийского моря за 1980–2022 гг. по данным атмосферных реанализов // «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий». Материалы VII Международной научно-практической конференции. Часть 1. (15–19 мая 2023 г., Майкоп, Адыгея), 2023. С. 196–206.
3. Кудин Д. В., Зайцев А. Н., Красноперов Р. И., Маневич А. И., Канониди К. Х. Развитие геофизических наблюдений в Архангельской области: комплексная геомагнитная обсерватория «Климовская» ГЦ РАН и научный стационар ИЗМИРАН в Карпогорах // 6 всероссийская конференция «Глобальная электрическая цепь» (Борок, 2–6 октября 2023 г.). Материалы конференции. 2023. С. 95–96.
4. Бочаров А. В., Кравченко П. Н., Лебедев С. А. Трансформация структуры теплового загрязнения озер-охладителей Калининской АЭС // «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий». Материалы VII Международной научно-практической конференции. Часть 1. (15–19 мая 2023 г., Майкоп, Адыгея). 2023. С. 46–48.
5. Волков Д. С., Косолапов И. А., Гребеников Д. А., Лебедев С. А. Создание региональной базы данных основных метеорологических параметров Каспийского моря по данным береговых метеостанций // «Фундаментальные и





- прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий». Материалы VII Международной научно-практической конференции. Часть 1. (15–19 мая 2023 г., Майкоп, Адыгея). 2023. С. 58–62.
6. Волков Д. С., Косолапов И. А., Гребеников Д. А., Лебедев С. А. Создание региональной базы данных основных метеорологических параметров Каспийского моря по данным спутниковой СВЧ-радиометрии // «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий». Материалы VII Международной научно-практической конференции. Часть 1. (15–19 мая 2023 г., Майкоп, Адыгея). 2023. С. 63–68.
  7. Ростовцева Ю. В. Фролов Владимир Тихонович: выдающийся ученый и педагог // Экзолит – 2023. Новаторская литология Фролова: общее и частное (Москва, 22–23 мая 2023 г.). Сборник научных материалов. (Под. ред. Ю. В. Ростовцевой). 2023. С. 30–31. DOI: 10.29003/m3432.exolith-2023
  8. Ростовцева Ю. В. К вопросу типизации пород нетрадиционных коллекторов // Экзолит – 2023. Новаторская литология Фролова: общее и частное (Москва, 22–23 мая 2023 г.). Сборник научных материалов. (Под. ред. Ю. В. Ростовцевой). 2023. С. 161–164. DOI: 10.29003/m3432.exolith-2023
  9. Третьяк И. Д., Лебедев С. А. Межгодовая изменчивость температуры почвы в арктической зоне Северо-Запада России // «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий». Материалы VII Международной научно-практической конференции. Часть 2. (15–19 мая 2023 г., Майкоп, Адыгея). 2023. С. 232–236.

## Тезисы

1. Акматов Д. Ж. Создание трехмерной геомеханической модели для оценки устойчивости породного массива при захоронении высокоактивных РАО // Сборник тезисов «Научной конференции молодых учёных и аспирантов ИФЗ РАН – 2023» (г. Москва, 8–10 ноября 2023 г.), 2023.
2. Габышев Д. Н. Аналитическая поправка на скорость роста малых капель воды // Сборник тезисов докладов XXX Юбилейной Конференции «Аэрозоли Сибири». 2023.
3. Кафтан В. И., Маневич А. И., Татаринев В. Н. Современные подъемы земной коры, сейсмичность и тектоника Кавказа // Сборник тезисов. XXIII Всероссийская научно-практическая Щукинская конференция «Структура, вещественный состав, свойства, современная геодинамика и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов» с международным участием (г. Воронеж, 2–6 октября 2023 г.), 2023.



4. Краснопёров Р. И. Методы геоинформатики в изучении климатических изменений Арктики // Сборник тезисов докладов Академического форума молодых ученых стран Большой Евразии «Континент науки» (1–4 ноября 2023 г., г. Москва), 2023.
5. Sidorov R. V., Soloviev A. A., Krasnoperov R. I., Grudnev A. A., Karapetyan J. K., Lazarev D. D. Magnetic susceptibility measurements in geomagnetic observatory installation practice // Collection of abstracts of the 19th IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing (22–26 May 2023, Sopron, Tihany, Hungary), 2023.
6. Шевалдышева О. О. Строение Карской астроблемы по геофизическим данным // Сборник тезисов конференции «Ломоносов-2023», 2023.
7. Шевчук Р. В. Геодинамический мониторинг с использованием ГНСС-технологий и анализ полученных данных // Сборник тезисов «Научной конференции молодых учёных и аспирантов ИФЗ РАН – 2023» (г. Москва, 8–10 ноября 2023 г.), 2023.

#### Данные

1. Manevich A. I., Shevchuk R. V., Losev I. V., Kaftan V. I., Urmanov D. I., Shakirov A. I. (2023). PyGeoStrain: A software package for calculation crustal strain (1.0) // Цифровая библиотека открытых данных Zenodo. 2023. DOI: 10.5281/zenodo.7948241
2. Soloviev A., Gvishiani A., Turuntaev S., Sidorov R., Ryakhovsky I., Kudin D., Krasnoperov R., Grudnev A. 1-second sampled values of X, Y, Z components and total intensity F of the Earth's magnetic field from Geomagnetic Observatory Mikhnevo (IAGA code: MHV) // Earth Science DataBase (ESDB) repository, GCRAS, Moscow. 2023. DOI: 10.2205/MHV2023sec
3. Soloviev A., Gvishiani A., Turuntaev S., Sidorov R., Ryakhovsky I., Kudin D., Krasnoperov R., Grudnev A. Geomagnetic data recorded at Geomagnetic Observatory Mikhnevo (IAGA code: MHV) // Earth Science DataBase (ESDB) repository, GCRAS, Moscow. 2023. DOI: 10.2205/MHV2023
4. Dokukin P. A., Kaftan V. I., Manevich A. I., Shevchuk R. V. Evolution of the seismic process and crustal total shear strain (2008–2021) under the influence of the Hikurangi mantle superplume // Earth Science DataBase (ESDB) repository, GCRAS, Moscow. 2023. DOI: 10.2205/ESDB-Hikurangi-shear
5. Dokukin P. A., Kaftan V. I., Manevich A. I., Shevchuk R. V. Evolution of the seismic process and horizontal dilatation strain (2008–2021) under the influence of the Hikurangi mantle superplume // Earth Science DataBase (ESDB) repository, GCRAS, Moscow. 2023. DOI: 10.2205/ESDB-Hikurangi-dilatation
6. Dokukin P. A., Kaftan V. I., Manevich A. I., Shevchuk R. V. Evolution of the seismic process and crustal movements (2008–2021) under the influence of the



- Hikurangi mantle superplume. Earth Science DataBase (ESDB) repository, GCRAS, Moscow. 2023. DOI: 10.2205/ESDB-Hikurangi-movement
7. Dokukin P. A., Guvenaltin M. A., Irmak T. S., Kaftan V. I., Toker M. Evolution of the crustal inner displacement deficit in a reference to Elazig earthquake series just before occurring the devastate Ekinozu-Nuradagi earthquakes (M7,5–7,8, 2023-02-06) // Earth Science DataBase (ESDB) repository, GCRAS, Moscow. 2023. DOI: 10.2205/ESDB-Ekinozu-Nurdagi-quakes
  8. Kaftan V. I., Guvenaltin M. A., Dokukin P. A., Toker M., Irmak T. S. Fifteen-year evolution of the crustal dilatation in a reference to the recent East Anatolian earthquakes // Earth Science DataBase (ESDB) repository, GCRAS, Moscow. 2023. DOI: 10.2205/ESDB-000877-d01
  9. Kaftan V. I., Guvenaltin M. A., Dokukin P. A., Toker M., Irmak T. S. Fifteen-year evolution of the crustal total shear strain in a reference to the recent East Anatolian earthquakes // Earth Science DataBase (ESDB) repository, GCRAS, Moscow. 2023. DOI: 10.2205/ESDB-000877-d02
  10. Kaftan V. I., Guvenaltin M. A., Dokukin P. A., Toker M., Irmak T. S. Fifteen-year evolution of the crustal inner shear deficit in a reference to the recent East Anatolian earthquakes // Earth Science DataBase (ESDB) repository, GCRAS, Moscow. 2023. DOI: 10.2205/ESDB-000877-d03
  11. Kaftan V. I., Guvenaltin M. A., Dokukin P. A., Toker M., Irmak T. S. Fifteen-year evolution of the crustal surface displacements in a reference to the recent East Anatolian earthquakes // Earth Science DataBase (ESDB) repository, GCRAS, Moscow. 2023. DOI: 10.2205/ESDB-000877-d04



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

### Программы для ЭВМ

1. Камаев А. А., Маневич А. И. Программа для классификации объектов землепользования в районе разработки угольных месторождений на основе данных дистанционного зондирования Земли / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661623 от 01 июня 2023 г.
2. Камаев А. А., Маневич А. И. Программа классификации и визуализации уклонов земной поверхности на основе данных радиолокационной миссии SRTM V4 и стереоскопической съемки ASTER GDEM V3 / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661625 от 01 июня 2023 г.
3. Камаев А. А., Маневич А. И. Программа для расчета средней месячной и дневной концентрации диоксида азота и метана на основе данных спутниковой миссии Sentinel 5P / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661624 от 01 июня 2023 г.
4. Колесников И. Ю., Татаринов В. Н., Татаринова Т. А. 3D Спектральный 20-узловой конечный элемент «3D\_SPFE20-GEO» / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023667114 от 10 августа 2023 г.
5. Федоров Е. Н., Мазур Н. Г., Пилипенко В. А. ЛЭП-ионосфера / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023667115 от 10 августа 2023 г.
6. Пресняков С. В., Бояршинов Г. С., Одинцова А. А., Боровская Т. Е., Дьяков В. В. ORBUS 3.1 / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023669257 от 12 сентября 2023 г.
7. Агаян С. М., Богоутдинов Ш. Р., Дзедобоев Б. А., Белов И. О. Программа построения внутренней оболочки для дискретного множества Int / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023685297 от 24 ноября 2023 г.
8. Лисенков И. А., Кузнецов В. А., Соловьев А. А. Программа для комбинированного сбора геопространственных данных «SpatialGeodata\_Full\_Pipeline» / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023685265 от 24 ноября 2023 г.
9. Добровольский М. Н., Богоутдинов Ш. Р., Агаян С. М. FCARS-COVID / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023685267 от 24 ноября 2023 г.



10. Гвоздик Г. А., Гвоздик С. А., Шевалдышева О. О., Никитина И. М. Программа для групповой обработки растров «Group\_raster\_clip» / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023685266 от 24 ноября 2023 г.
11. Белов И. О., Кудин Д. В. Веб-сервис доступа к окончательным данным обсерваторий Аналитического центра геомагнитных данных межрегионального сегмента ИНТЕРМАГНЕТ на базе Геофизического центра РАН / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023685582 от 28 ноября 2023 г.
12. Кедров Э. О. RJES RAC-style 2.0 / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023686219 от 05 декабря 2023 г.
13. Кедров Э. О. RJES RAT-template 1.0 / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023686218 от 05 декабря 2023 г.
14. Шевалдышева О. О., Гвоздик С. А., Никитина И. М., Красноперов Р. И. Программа отбора значений вдоль линии профиля по группе сеточных файлов / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023687162 от 12 декабря 2023 г.
15. Белов И. О., Сергеева Н. А. Веб-сервис доступа к историческим данным Мирового центра данных по солнечно-земной физике / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023687161 от 12 декабря 2023 г.

#### **Базы данных**

1. Петрунин А. Г., Кабан М. К., Соловьёв А. А. База данных геотермального теплового потока для Арктического региона / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023620542 от 13 февраля 2023 г.
2. Козырева О. В., Пилипенко В. А. База данных УНЧ индексов для магнитосопреженных областей Гренландия – Антарктика / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023622731 от 10 августа 2023 г.
3. Лебедев С. А. ИБДСА Онежское озеро – значимые высоты волн / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023622995 от 30 августа 2023 г.
4. Лебедев С. А. ИБДСА Ладожское озеро – значимые высоты волн / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023622994 от 30 августа 2023 г.
5. Бояршинов Г. С., Боровская Т. Е., Одинцова А. А. База сферических визуализаций: Астрономия (планеты Солнечной системы) / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023622993 от 30 августа 2023 г.





6. Лисенков И. А., Кузнецов В. А., Соловьёв А. А. База геолого-геофизических данных восточного сектора российской Арктики для анализа методами машинного обучения / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023624329 от 01 декабря 2023 г.
7. Сергеева Н. А., Забаринская Л. П., Книппер Н. И. Землетрясения Фенноскандии, 1951–1985 гг. / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023624373 от 05 декабря 2023 г.
8. Сергеева Н. А., Забаринская Л. П., Крылова Т. А. Землетрясения Арктики, 1962–1991 гг. / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023624372 от 05 декабря 2023 г.