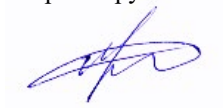


На правах рукописи



Москвитин Александр Анатольевич

**РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И  
ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ  
АКВАТОРИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ О. САХАЛИН**

1.16.17 – «Океанология»

**АВТОРЕФЕРАТ**

Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Владивосток – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований дальневосточного отделения Российской академии наук (СКБ САМИ ДВО РАН).

**Научный руководитель:** доктор физико-математических наук,  
член-корреспондент РАН  
**Зайцев Андрей Иванович**

**Официальные оппоненты:** **Чупин Владимир Александрович** - доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева

**Кантаржи Измаил Григорьевич** - доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

**Ведущая организация:** Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН).

Защита состоится «18» декабря 2026 г. в 12:00 часов (по местному времени) на заседании диссертационного совета 24.1.214.02, созданного на базе ТОИ ДВО РАН «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева», по адресу: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ТОИ ДВО РАН «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева» и на сайте «[www.poi.dvo.ru](http://www.poi.dvo.ru)».

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Храпченков Фёдор  
Фомич

## **Общая характеристика работы**

**Актуальность темы исследования.** Охотское море является уникальным объектом Мирового океана. Характеризующееся суровыми климатическими условиями, сильными сезонными колебаниями и уникальными процессами, влияющими на его водный баланс, циркуляцию и экосистемы. Воды Охотского моря обладают уникальным объемом биологических ресурсов и их разнообразием, делая его одним из самых продуктивных морей Мирового океана, играя ключевое значение в становлении активно развивающегося дальневосточного региона.

Активное развитие региона приводит к все большей антропогенной нагрузке на прибрежные акватории Охотского моря и их территории. Это накладывает строгие обязательства направленные на сохранение устойчивости его экосистем, прогнозирования изменений, выработки упреждающих мер и рекомендаций, направленных на минимизацию ущерба как от не контролируемой деятельности человека, так и в следствии опасных природных явлений.

Сохранение экосистем Охотского моря и поддержание его баланса – это сложнейшая задача, требующая комплексных мер со стороны государства, бизнеса, осуществляющего хозяйственную деятельность в его водах, и международного научного сообщества.

Для решения подобных задач необходимо организовать всесторонние систематические научные исследования, в основе которых должны лежать натурные исследования с применением современных технических средств измерений различных параметров морской среды, прошедших метрологическое освидетельствование.

Достоверно измеренные данные, полученные в процессе натурных исследований, являются базисом для построения моделей поведения экосистем, численного моделирования и прогнозирования изменений в обозримом будущем.

**Степень разработанности темы исследования.** Гидрофизические исследования Охотского моря имеют довольно длительную историю. Экспедиции первых российских мореплавателей составили первые описания Охотского моря, заложив основу понимания сезонных изменений ледового покрова и батиметрии. Однако период активных систематических исследования начались в начале 30-х годов и проводились до начала 90-х годов прошлого столетия, позже активность исследований значительно упала и носило скорее эпизодический характер.

В настоящее время исследования гидрофизических характеристик Охотского моря носит скорее периодический характер, и является недостаточным, охватывая в основном локальные направления и акватории.

Научные организации, внесшие вклад в изучение Охотского моря:

- Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева (ТОИ ДВО РАН);
- Тихоокеанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО);
- Институт океанологии имени П.П. Ширшова АН СССР;
- Дальневосточный научно-исследовательский гидрометеорологический институт (ДВНИГМИ);
- Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова (ГОИН);
- Московский государственный университет (МГУ);
- Тихоокеанский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института рыбного хозяйства (ВНИРО);
- Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований (СКБ САМИ ДВО РАН);

**Цель исследования.** Цель диссертации состоит в развитии исследований гидрофизических процессов в прибрежных акваториях Охотского моря с помощью авторских разработок морского приборостроения.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

- Разработать и адаптировать измерительную систему для регистрации гидрофизических характеристик на заданных горизонтах;
- Используя систему измерения гидрологических характеристик, провести натурные исследования в акватории Охотского моря, включая проливы Курильских островов;
- Разработать и адаптировать измерительные приборы для регистрации солености водной среды и скорости водного потока;
- Адаптировать безэкипажный корабль для проведения гидрографических работ в прибрежной зоне;
- Используя авторские разработки, выполнить комплексные исследования по оценке водообмена озера лагунного типа Тунайча с Охотским морем;
- Разработать регистратор гидростатического давления «Волнограф» и адаптировать измерения поверхностного волнения. Выполнить исследования в прибрежных акваториях Охотского моря;

**Практическая значимость работы.** Практическая значимость диссертационной работы обусловлена созданием нового аппаратного комплекса для проведения натуральных измерений гидрофизических, гидрохимических параметров водной среды.

Разработаны методики проведения измерений в сложных климатических условиях. В процессе выполнения исследовательских работ получен

большой объем данных, которые являются уникальными для этих районов исследований.

Выполнена численная оценка литодинамических процессов на побережье Охотского моря (залив Мордвинова) в районе пролива Красноармейский. Выработаны рекомендации по защите прибрежной инфраструктуры.

**Личный вклад соискателя.** Соискателем проведена работа по поиску и анализу научной литературы в области исследований, сформулированы задачи диссертационной работы.

В ходе проектирования аппаратурного измерительного комплекса автор непосредственно отвечал за выбор схмотехнических решений, изготовление электронных блоков. Принимал непосредственное участие в разработке алгоритмов работы приборов, организации и проведения натурных испытаний.

Так же автор учувствовал во всех натурных исследованиях аппаратурного комплекса, проводимых в различных акваториях Охотского моря (у берегов острова Сахалин, а также вдоль Курильской гряды).

Положения, выносимые на защиту:

- Разработан и апробирован аппаратурный измерительный комплекс, для исследования различных гидрофизических параметров с высокой точностью в прибрежных, морских акваториях;
- С применением разработанного измерительного комплекса проведены натурные измерения, которые позволили получить уникальные данные;
- Проведено численное моделирование с применением данных полученных в ходе проведения натурных исследований, результаты моделирования сопоставимы с результатами наблюдений;

**Степень достоверности результатов исследования.** Результаты всех совокупно проведенных натурных исследований проводились с применением разработанного аппаратурного комплекса прошедшего метрологическое освидетельствование на базе СКБ САМИ ДВО РАН. Процесс проведения измерений основывался на отработанных методиках и нормативных документах. Результаты исследований анализировались и сравнивались с результатами других научных организаций, проводивших научные работы в исследуемых акваториях, в разные периоды. Достоверность проведенных исследований с применением разработанной технической базой подтверждается в тексте диссертационной работы.

**Апробация работы.** Результаты научной работы были доложены на:

1. XX научная школа «Нелинейные волны – 2022». Тема доклада: «Данные долговременных измерений волн у о-ва Сахалин». 7-13 ноября 2022 года, Нижний-Новгород.

2. «КОГРАФ-2022» - Всероссийский форум по графическим информационным технологиям и системам. Тема доклада: «Использование баз данных предметно-специфических признаков и спектральных характеристик в существующих сервисах обработки спутниковых данных». 18-21 апреля 2022 года. Нижний-Новгород.
3. «Геодинамические процессы и природные катастрофы: тезисы докладов IV Всероссийской научной конференции с международным участием». Тема доклада: «Элементы информационной системы прибрежных рисков острова Сахалин, связанных с природными катастрофами». 6-10 сентября 2021 года, Южно-Сахалинск.
4. «КОГРАФ-2020» - 30-я Всероссийская научно-практическая конференция по графическим информационным технологиям и системам. Тема доклада: «Оценка воздействия опасных волновых явлений в заливе Мордвинова (о-в Сахалин). 2020 год, Нижний-Новгород.
5. «Геодинамические процессы и природные катастрофы: тезисы докладов III Всероссийской научной конференции с международным участием». Тема доклада: «Осуществление экологического мониторинга с помощью измерительной станции «ПАГИС»». 27-31 мая 2019 года, Южно-Сахалинск.
6. XIII симпозиум Физика геосфер. «Натурные исследования распределения солености по акватории озера Тунайча». 11-13 сентября 2023 года, Владивосток.

Так же результаты работы вошли в состав отчетов:

1. Комплексной экспедиции «Восточный бастион – Курильская гряда», организованной Русским географическим обществом, Российской академией наук и министерством обороны в 2019 году.
2. НИР «Комплексное экологическое обследование памятника природы регионального значения «Озеро Тунайча» в части исследования водообмена озера Тунайча с Охотским морем»

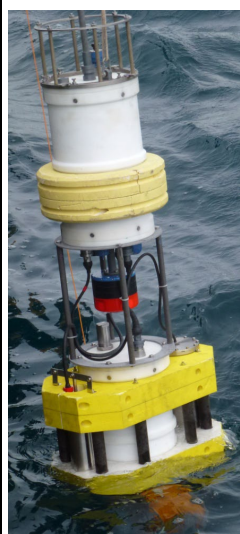
**Публикации.** Материалы представленной диссертации изложены и в 15 научных публикаций, опубликованы в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий. 2 работы опубликованы в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, 6 работ опубликованы в сборниках трудов по итогам конференций, получены 3 свидетельства о регистрации программных продуктов.

**Структура и объем диссертации.** Составленная диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка литературы и одного приложения. Список литературы включает в себя 127 позиций, в том числе 35 на иностранном языке. Диссертационная работа изложена на 162 страницах и включает в себя 84 рисунка, 6 таблиц и 25 формул.

## Основное содержание работы

В первой главе диссертации рассматривается комплекс технических средств измерения для исследования гидрофизических процессов, протекающих в морской среде, разработанный при непосредственном участии автора и прошедшие апробацию в акваториях Охотского, Японского морей, а также в озерах лагунного типа, расположенных в южной части о. Сахалин. Все представленные измерительные приборы прошли метрологическое освидетельствование на базе СКБ САМИ ДВО РАН.

В разделе 1.1 подчеркивается важность получения натуральных данных, их роль и значимость в становлении современной науки. В последующих разделах первой главы описывается комплекс технических средств измерений, в разделе 1.2 представлена позиционная автоматизированная гидрофизическая измерительная станция (ПАГИС). ПАГИС — это многофункциональная мобильная платформа для оперативного мониторинга водной среды, предназначенная для проведения долговременных, регулярных измерений гидрофизических, гидрохимических параметров путем многократного вертикального профилирования в автоматическом режиме. Несколько комплектов измерительных станций могут быть объединены в общую информационно-измерительную сеть оперативного контроля.



Технические характеристики станции:

- 1) Габариты и вес станции:
  - в транспортном положении 400x400x2000 мм;
  - в рабочем положении 400x400x3500 мм;
  - вес станции на воздухе 54 кг;
  - положительная плавучесть в воде 10 кг;
- 2) Глубина постановки до 200м;
- 3) Точность выхода на горизонт измерений 0,1% (для 200 метров составляет 20 см);
- 4) До 200 циклов измерения на базовой батарее;
- 5) Скорость течения в районе постановки до 1 узла;

*Рисунок 1 – измерительная станция ПАГИС.*

Результаты полученных измерений, проводимых начиная с 2013 по настоящее время, неоднократно подтверждали заявленные тактико-

технические характеристики станции, которые были опубликованы в работах в соавторстве с соискателем (Зайцев, и др., 2013; Малашенко, и др., 2014).

В разделе 1.3 рассматривается автономный регистратор течений, предназначенный для измерения скорости течения водного потока в заданном слое, основанного на эффекте Доплера. Применялся для исследования водообмена озера лагунного типа с Охотским морем во время сильных штормовых нагонов в сложных климатических условиях.

|                                                                                   |                                                                               |                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|  | Основные характеристики датчика AANDERAA ZPulse® Doppler Current Sensor 4420. |                                      |
|                                                                                   |                                                                               |                                      |
|                                                                                   | Диапазон скорости измерений: 0-300 см/сек;                                    |                                      |
|                                                                                   | Разрешение:                                                                   | 0,1 мм/сек;                          |
|                                                                                   | Точность:                                                                     | Абсолютная: $\pm 0,15$ см/сек;       |
|                                                                                   |                                                                               | Относительная: $\pm 1\%$ от отсчета; |
|                                                                                   |                                                                               | Статистическая (СКО): 0,3 см/сек;    |
|                                                                                   | Компас:                                                                       |                                      |
|                                                                                   | Разрешение:                                                                   | $0,01^\circ$                         |
|                                                                                   | Точность:                                                                     | $\pm 1,5^\circ$                      |
|                                                                                   | Акустическая частота:                                                         | 1,9 – 2 МГц                          |
|                                                                                   | Акустическая мощность:                                                        | 25 Вт<br>имп. 1 милиСек              |
|                                                                                   | Угол раскрытия луча:                                                          | 2 град.<br>(главный луч)             |

Рисунок 2 – автономный регистратор течений

В разделе 1.4 Погружной зонд для измерения электропроводности.

Измерение электропроводности воды является одним из ключевого параметра для измерения нескольких фундаментальных физических свойств воды. Для соленой воды способность проводить электрический ток в основном зависит от температуры и количества неорганических растворенных твердых частиц.

Погружной зонд регистрации электропроводности – предназначен для регистрации и измеренных данных о электропроводности и температуры воды, собран на базе датчика AANDERAA Conductivity Sensor 4319.

|                                                                                   |                                                                                                          |                |                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------|
|  | Основные характеристики датчика электропроводности, температуры (солености, плотности) Conductivity 4319 |                |                        |
|                                                                                   | Измеряемые характеристики                                                                                |                |                        |
|                                                                                   | Проводимость:                                                                                            | Диапазон:      | 0-7,5 S/m              |
|                                                                                   |                                                                                                          | Разрешение:    | 0,0002 S/m             |
|                                                                                   |                                                                                                          | Точность:      | ±0,005 или ±0,0018 S/m |
|                                                                                   |                                                                                                          | Время отклика: | (90 %) <3 сек          |
|                                                                                   | Температура:                                                                                             | Диапазон:      | -5 °C - +40 °C         |
| Точность:                                                                         |                                                                                                          | ±0,1 °C        |                        |
| Время:                                                                            |                                                                                                          | (63%) <10 сек  |                        |

Рисунок 3 – зонд погружной для измерения электропроводности

**В разделе 1.5** Безэкипажный корабль (БЭК) повышенной остойчивости предназначен для удаленного обследования береговой линии и дна акватории. Управление БЭК осуществляется по радиоканалу с берегового поста. Программное обеспечение позволяет в реальном времени отображать все подключенные к нему датчики, а также аккумулировать показания эхолота с привязкой к координатам, вектором направления движения и времени.

Основные технические характеристики:

1. Длина корабля: 3.6 м;
2. Ширина корабля по габариту: 0.8 м;
3. Осадка корабля: 0.35 м;
4. Общая масса корабля в зависимости от комплектации: до 300 кг;
5. Скорость корабля: до 20 узлов;

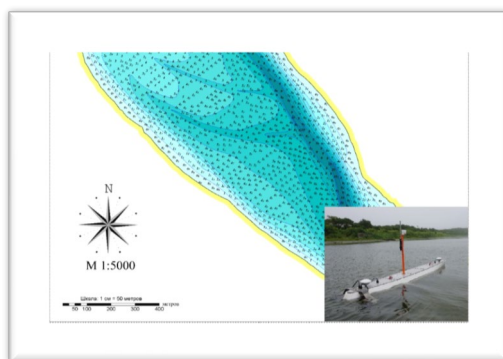
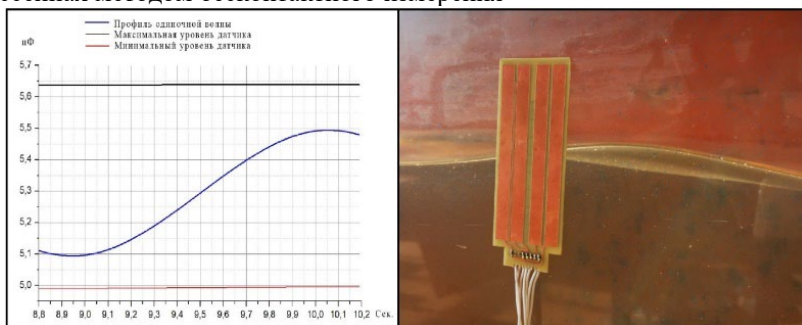


Рисунок 4 - Внешний вид безэкипажного корабля и результат гидрографической съемки пролива Красноармейский (оз. Тунайча)

**В разделе 1.6** Устройство для бесконтактного измерения, предназначено для исследования воздействия нагонных волн на береговую линию и прибрежную инфраструктуру в условиях опытно-экспериментальных бассейнов методом бесконтактного измерения



*Рисунок 5 – Результат измерения одиночной волны в опытно-экспериментальном бассейне.*

**В разделе 1.7.** Устройство «Волнограф», предназначенное для регистрации и накопления долговременных измерений поверхностного волнения моря.

|                                                                                    |                                                                               |                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|  | Основные характеристики:                                                      |                                                   |
|                                                                                    | Глубина постановки:                                                           | от 5 до 20 м;                                     |
|                                                                                    | Частота дискретизации:                                                        | 8 Гц;                                             |
|                                                                                    | Автономность:                                                                 | до 1 года<br>(в зависимости от элементов питания) |
|                                                                                    | Измерительный элемент:<br>тензопреобразователь абсолютного давления НРА 0,25; |                                                   |
|                                                                                    | Разрешающая способность:                                                      | 0,01%                                             |
|                                                                                    | Диапазон давлений:                                                            | 0...0,25 МПа                                      |
| Диапазон температур:                                                               |                                                                               | От -45°С до +200 °С                               |

*Рисунок 6 - Волнограф*

**Во второй главе** представлены результаты натурных исследований, полученных автором в ходе проведения множества экспедиций, научно-исследовательских работ, а также в процессе апробации новых научно-измерительных приборов, описанных в первой главе данной диссертационной работы

Выполнен анализ гидрофизических исследований, выполненных автором, в районе Курильских островов (пролив Фриза). Анализ данных измерений позволил выявить основные особенности трансформации водных масс Охотского моря и Тихого океана в проливе Фриза. Характер вертикальной структуры вод в проливе остается тем же, что в море и в океане, но границы отдельных водных масс несколько смещаются. В мелких частях пролива вода слабо стратифицирована. Соленость воды в проливах на поверхности выше, чем в море. Зона пролива характеризуется уменьшением температуры воды на поверхности относительно сопредельных вод океана и моря. Холодный и теплый промежуточные слои в проливе меньше отличаются по своим характеристикам, в некоторых случаях границы их выражены нечетко. Отрицательные температуры не были отмечены в проливе. В проливе Фриза, в мелководной части водные массы хорошо перемешаны течениями, вода практически однородна – вертикальные градиенты гидрологических характеристик составляют порядка 0,008 град/м. В этом районе отмечена наиболее низкая температура и скорость звука по сравнению с другими точками измерения.

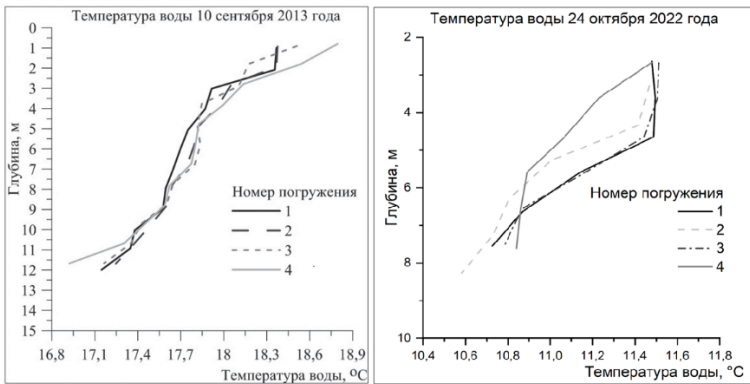
Проведен анализ водообмена через Курильский пролив (пролив Фриза). Исследования показали, что в Охотское море вносится значительное количество тепла, что определяет климатические особенности всего моря и обширных прибрежных акваторий. Полученные сведения о характере водообмена Охотского моря с Тихим океаном через пролив Фриза позволяют более дифференцированно рассматривать задачу о снабжении моря теплом. Этот вопрос имеет значение, так как определяет многие черты гидрологического режима (интенсивность процессов ледообразования, пространственное распределение льдов, температурные характеристики водных масс, условия рыбного промысла и зимней навигации).

Определено, что гидроакустическая структура поля скорости звука в изучаемом районе определяется особенностями гидрологической структуры морских водных масс. Гидроакустическая структура вод в проливе Екатерины относится к южно-охотоморскому типу, с наличием звукового канала на глубине 100-200 м. Отличительная особенность строения поля скорости звука в проливе Екатерины заключается в наибольшем диапазоне изменения величины скорости звука от поверхности до оси звукового канала.

В рамках комплексной экспедиции «Восточный бастион – Курильская гряда», организованной Русским географическим обществом, Российской

академией наук и министерством обороны в 2019 году. Получены данные гидрологических характеристик морских вод в районе Курильских островов Уруп и Итуруп. Выявлено их различие для охотоморской и тихоокеанской стороны Курильской гряды. Температура воды со стороны океана выше, чем с охотоморской стороны. Соответствующие отличия наблюдаются по всем параметрам, зависимым от температуры (скорость звука, электропроводность и т.д.). Выявлены значительные отличия по величине скорости течений в точках измерения. Максимальные значения концентрации кислорода отмечаются в момент смены направления течения.

Выполнены комплексные исследования в рамках научно-исследовательской работы «Комплексное экологическое обследование памятника природы регионального значения «Озеро Тунайча» в части исследования водообмена озера Тунайча с Охотским морем». Обработан весь доступный объем архивных и литературных материалов. В 2022 году проведен большой объем гидрографических и гидрофизических работ. Получено распределение солёности и температуры по всей акватории озера. Эта работы была проведена в два этапа, в весенний и осенний периоды, для оценки сезонной изменчивости.



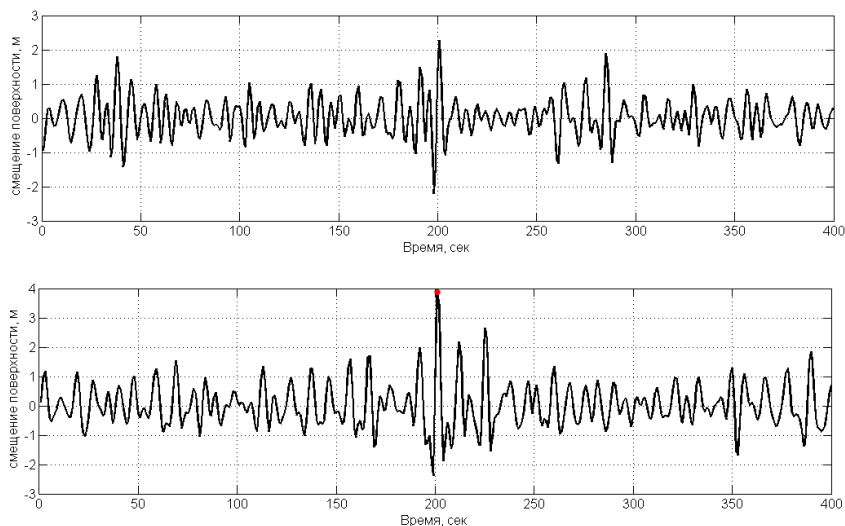
*Рисунок 7 - Изменение температуры по профилю измерения (слева осенние 2013 года, справа осенние 2022 года)*

Анализ результатов измерений показал, что в зимнее время практически не происходит приливных движений внутри озера, что связано с недостаточными размерами протоки, соединяющей озеро с морем. Часть протоки замерзает в зимнее время. Результаты измерений и их анализ показали, что вентиляция придонных слоев свежей морской водой происходит только при сильных ветровых и штормовых нагонах, когда морская вода продавливает встречное течение из озера. Полученные результаты были использованы для оценки среднегодового объема стока всех водотоков в озеро Тунайча. Данные отчета используются для работы

межведомственной комиссии Сахалинской области по экологической проблеме озера Тунайча.

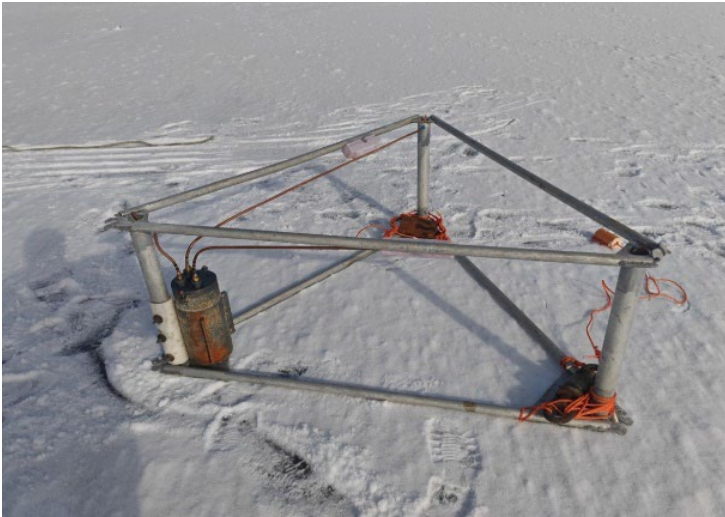
**Третья глава** посвящена анализу волнового режима вблизи мыса Свободный (остров Сахалин).

В данной главе проанализированы данные долговременных измерений волн у побережья о-ва Сахалин в акватории Охотского моря донными станциями регистрации вариаций давления. Эти записи составляют часть большого по размеру банка данных измерений с 2009 года, которые планируется исследовать в дальнейшем. На данном этапе для восстановления поверхности использовано гидростатическое приближение; альтернативно можно считать исследование примененным к исходным записям давления.



*Рисунок 8 - Примеры anomalно больших волн (волн-убийц), зарегистрированных на м. Свободный*

Так же под руководством профессора, доктора физико-математических наук член-корреспондента РАН Слюняева А.В., был разработан вариант устройства для долговременного измерения поверхностного волнения моря (описанного в первой главе), с тремя равноудаленными друг от друга измерительными датчиками давления синхронизированных от одного тактируемого источника. Данный вариант устройства предназначен для регистрации объемных волн, а также их направлений.



*Рисунок 9 – Волнограф с тремя измерительными датчиками*

Главной задачей исследования явилось их разделение по подгруппам, которые должны соответствовать физически эквивалентным условиям распространения волн. Это позволит сформировать представительное подмножества статистически однородных волн, дифференцировать различные физические процессы, участвующие в формировании волн большой высоты. Для сортировки данных использованы естественные безразмерные параметры задачи: нормированная глубина места измерения и три параметра нелинейности, соответствующие крутизне (параметр нелинейности на глубокой воде), отношению амплитуды волны к глубине (параметр нелинейности на мелкой воде) и числу Урселла (отношение эффектов мелководной нелинейности к дисперсии). Несмотря на разный физический смысл, все перечисленные нелинейные параметры связаны между собой посредством безразмерной глубины.

Построены экспериментальные распределения вероятностей для подгрупп записей, соответствующих разным интервалам безразмерных параметров. Все зависимости демонстрируют в разной степени отличие от распределения Рэлея, которое заключается в том, что экспериментальная зависимость лежит выше теоретической кривой в интервале небольших высот и ниже распределения Рэлея в области больших значений высот волн. События самых больших превышений значительной высоты, наблюдавшиеся в ледовый период, сильно выбиваются из общего распределения и характеризуются значительно большей вероятностью. Выявлена существенная зависимость функции распределения вероятностей высот волн от нелинейности. Она наиболее сильно и четко проявляется при

изменении параметра мелководной нелинейности — отношения среднеквадратичного смещения к глубине. Этот вывод качественно согласуется с теоретически распределением Глуховского, для которого отличие от распределения Рэлей контролируется именно таким параметром, и отличие от распределения Рэля выглядит качественно схожим с наблюдениями образом. С усилением нелинейности вероятность волн, превышающих значительную высоту в 2 раза и более, снижается.

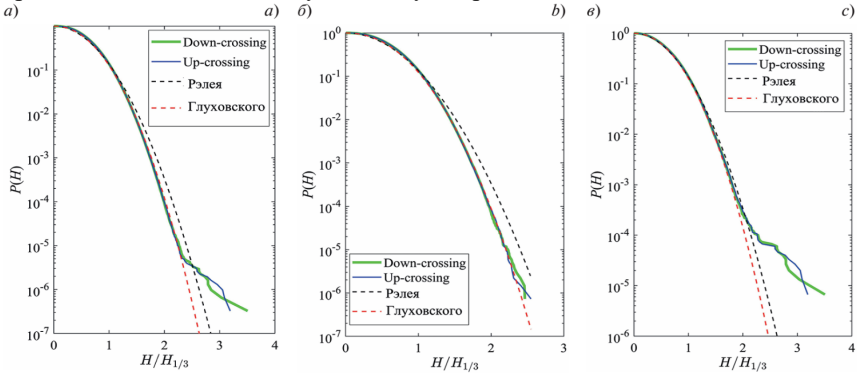


Рисунок 10 - Распределение вероятностей превышения высот волн по натурным данным за сезоны 2012–2014 гг.: все данные (а), данные только периодов безо льда (б) и ледовый период сезона 2014–2015 гг. (в). Разными цветами построены распределения по пересечению нулевого уровня вниз (Down-crossing) и вверх (Up-Crossing). Другие линии соответствуют распределениям Рэля и Глуховского, см. в (Кокорина, и др., 2022)

Хотя доминирующая часть записей соответствует значению  $kh \approx 0,6...0,7$ , из-за вариации периодов проходящих волн и приливных эффектов по данным измерений на фиксированной глубине получается исследовать волны в широком диапазоне безразмерных глубин  $kh = 0,3...2$ . Для них наблюдается зависимость вероятностного распределения от глубины. Для выборки  $kh \geq 1,4$  натурные данные следуют распределению Рэля значительно лучше, демонстрируя повышение вероятности высоких волн в сравнении с данными  $kh < 1,4$ .

Записи, соответствующие условно ледовым периодам и содержащие волны с наибольшим превышением значительной высоты, располагаются на плоскостях безразмерных параметров отлично от остальных данных. Волны в таких записях обладают заметной крутизной  $k\sigma > 0,03$  в довольно широком интервале безразмерных глубин  $kh = 0,5..1,2$ . Значительной нелинейностью в терминах отношения среднеквадратичного смещения поверхности к глубине и параметра Урссела обладает только их часть, содержащая сравнительно длинные волны.

Анализ полученных данных позволил выявить ряд конструктивных недостатков измерительной системы. Так в первой итерации системы, при длительной постановке, мелкие частички взвеси постепенно осаждались в канале измерительного датчика, что значительно снижало чувствительность измерительного элемента. Также была выявлена проблема с синхронизацией датчиков, что значительно усложняло обработку получаемых данных.

По итогу выявленных недостатков были внесены схемотехнические и конструктивные изменения в конструкцию измерительной системы, которые значительно улучшили качество получаемых данных.

**В четвертой главе** представлены результаты численных исследований гидродинамики поверхностных волн охотоморского региона.

Проведено полевое обследование результата штормового нагона, случившегося 15 ноября 2019 года в г. Корсакове на юге Сахалина. Выполнено численное моделирование этого события в рамках нелинейной теории мелкой воды с помощью вычислительного комплекса НАМИ-ДАНС. Штормовые условия моделировались с использованием данных о временном и пространственном распределении ветра на высоте 10 м, взятых из базы системы анализа прогноза климата (CFSR). При скорости ветра до 15 м/с высоты штормового нагона в районе порта г. Корсакова достигают 1,7 м, и ширина зоны затопления до 200 м, что полностью согласуется с данными измерений.



*Рисунок 11 - Зона затопления от штормового нагона 15 ноября 2019 года*

Выполнено комплексное исследование гидродинамического воздействия на пролив Красноармейский, соединяющая озеро Тунайча с Охотским морем (залив Мордвинова). Анализ результатов проведенных численных расчетов показывает, что возрастание характеристик наката волн на побережье южнее пролива Красноармейский происходит при движении волны с севера.

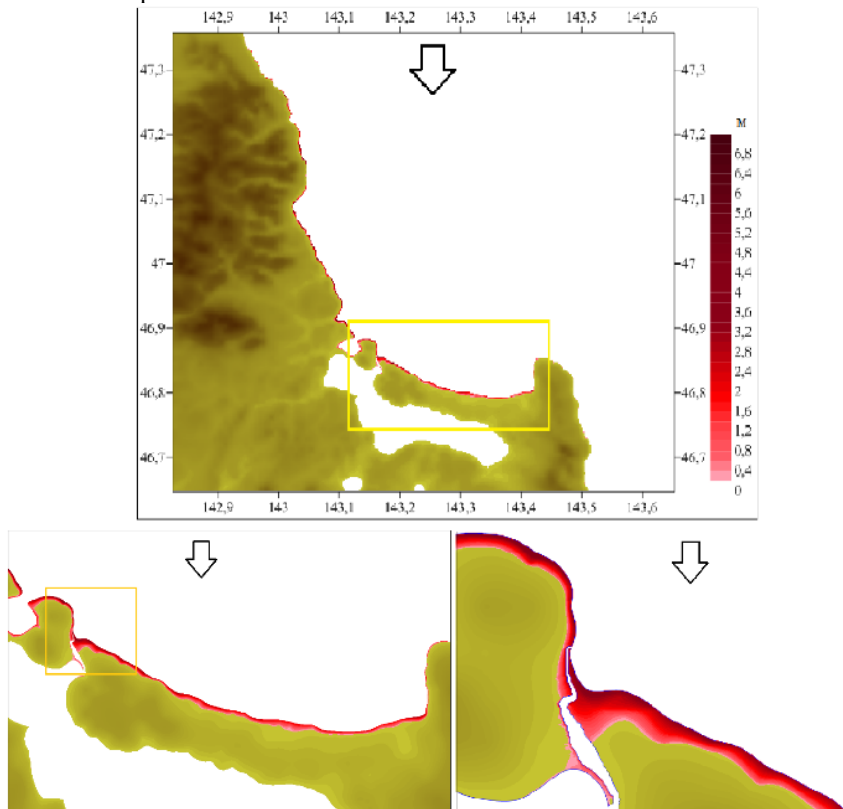


Рисунок 12 - Зона затопления при подходе волн с севера. Последовательно даны зумы с увеличивающимся масштабом.

Предложено, что для препятствия размыва переноса отложений в районе пролива Красноармейский (в результате чего пролив становится мельче) необходимо установить барьер, форма которого должна быть направлена не только вдоль побережья, но и закрывать побережье с севера.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Представлена позиционная автоматизированная измерительная станция «ПАГИС». Данная разработка адаптирована для измерения гидрофизических и гидрохимических параметров водной среды на заданных горизонтах. Проведены измерения различных параметров водной среды в сложных гидрологических условиях в разное время года, в том числе в ледный период.

- Разработан погружной зонд для измерения электропроводимости и температуры. С помощью авторских измерительных систем выполнена научно-исследовательская работа по оценке водного баланса в озере лагунного типа Тунайча. Проведен большой объем гидрографических работ.

- Представлено устройство «Волнограф», предназначенное для регистрации и накопления долговременных измерений поверхностного волнения моря. Данные измерений охватывают периоды сильных штормовых нагонов и становление ледового покрова в отдельных заливах Охотского моря.

- Разработан автономный регистратор течений водного потока, который применялся для исследования объемов воды, проникающих через пролив в озеро лагунного типа во время сильных штормовых нагонов в сложных климатических условиях. Выполнены исследования расхода воды и скорости течений водотоков в приустьевой части, впадающих в озеро Тунайча в период основных фаз водного режима.

- Выполнена адаптация безэкипажного корабля (БЭК) повышенной остойчивости для применения в прибрежной зоне. Данная платформа была использована для проведения гидрографических работ.

- Представлена авторская разработка для бесконтактного измерения изменения водной поверхности в лабораторных условиях. Рассматривается метод регистрации нагонных одиночных волн на наклонный берег в опытно-экспериментальном бассейне с помощью бесконтактного емкостного датчика,

- Разработано устройство «Волнограф», предназначено для регистрации и накопления долговременных измерений поверхностного волнения моря, методом измерения придонного давления.

- Выполнен анализ гидрофизических исследований, выполненных автором, в районе Курильских островов (пролив Фриза). Анализ данных измерений позволил выявить основные особенности трансформации водных масс Охотского моря и Тихого океана в проливе Фриза. Характер вертикальной структуры вод в проливе остается тем же, что в море и в океане, но границы отдельных водных масс несколько смещаются. В этом районе отмечена наиболее низкая температура и скорость звука по сравнению с другими точками измерения.

- Проведен анализ водообмена через Курильский пролив (пролив Фриза). Исследования показали, что в Охотское море вносится значительное количество тепла, что определяет климатические особенности всего моря и обширных прибрежных акваторий. Полученные сведения о характере водообмена Охотского моря с Тихим океаном через пролив Фриза позволяют более дифференцированно рассматривать задачу о снабжении моря теплом. Этот вопрос имеет значение, так как определяет многие черты гидрологического режима (интенсивность процессов ледообразования, пространственное распределение льдов, температурные характеристики водных масс, условия рыбного промысла и зимней навигации).

- Определено, что гидроакустическая структура поля скорости звука в изучаемом районе определяется особенностями гидрологической структуры морских водных масс. Гидроакустическая структура вод в проливе Екатерины относится к южно-охотоморскому типу, с наличием звукового канала на глубине 100-200 м. Отличительная особенность строения поля скорости звука в проливе Екатерины заключается в наибольшем диапазоне изменения величины скорости звука от поверхности до оси звукового канала.

- Выполнен анализ данные долговременных измерений волн у побережья о-ва Сахалин в акватории Охотского моря донными станциями регистрации вариаций давления.

- Проведено полевое обследование результата штормового нагона, случившегося 15 ноября 2019 года в г. Корсакове на юге Сахалина. Численное исследование показало, что при скорости ветра до 15 м/с высоты штормового нагона в районе порта г. Корсакова достигают 1,7 м, и ширина зоны затопления до 200 м, что полностью согласуется с данными измерений.

- Выполнено комплексное исследование гидродинамического воздействия на пролив Красноармейский, соединяющая озеро Тунайча с Охотским морем (залив Мордвинова). Анализ результатов проведенных численных расчетов показывает, что возрастание характеристик наката волн на побережье южнее пролива Красноармейский происходит при движении волны с севера.

## Список работ, опубликованных автором по теме диссертации.

### Публикации в журналах, включенных в Белый список:

1. **Москвитин А.А.**, Зайцев А.И., Шибаева М.Ю., Шабрамова Л.С. Влияние волнового воздействия на экологическое состояние озера Тунайча (о. Сахалин). / Экологические системы и приборы. 2020. № 11. С. 53-58.
2. **Москвитин А.А.** Методика бесконтактного измерения уровня воды в лабораторных условиях. / Инженерная физика. 2023. №.5. С. 63-69.
3. **Москвитин А.А.** Натурные измерения водообмена озера лагунного типа с морем. / Экологические системы и приборы. 2023. № 6. С. 59-66.
4. Зайцев А.И., Леоненков Р.В., **Москвитин А.А.**, Костенко И.С. Натурные измерения гидрологических параметров в сложных условиях. / Датчики и системы. 2013. № 12 (175). С. 44-48.
5. Зайцев А.И., Пелиновский Е.Н., Доган Д., Ялченир Б., Ялченик А., Куркин А.А., **Москвитин А.А.** Численное моделирование штормового нагора 5 ноября 2019 года на юге острова Сахалин. / Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36. № 4 (214). С. 396-406.
6. **Москвитин А.А.**, Шабрамова Л.С. Использование баз данных предметно-специфических признаков и спектральных характеристик в существующих сервисах обработки спутниковых данных. / Экологические системы и приборы. 2022. № 10. С. 52-58.
7. Сидоренко А.И., **Москвитин А.А.**, Кондрашова Е.С. Наземная беспилотная автоматизированная гусеничная платформа для обследования снежного покрова в лавиносборах методом георадиолокации. / Инженерная физика. 2024. № 12. С. 3-8.
8. Кокорина А.В., Слюняев А.В., Зайцев А.И., Диденкулова Е.Г., **Москвитин А.А.**, Диденкулова И.И., Пелиновский Е.Н. Анализ данных долговременных измерений волн у острова Сахалин. / Экологические системы и приборы. 2022. № 12. С. 45-54.
9. **Москвитин А.А.**, Ким А.И., Шабрамова Л.С., Зайцева М.Ю., Толикина М.Ю. Изменение экологического состояния озера Тунайча (о. Сахалин) в следствии внешнего воздействия. / Экологические системы и приборы. 2022. № 12. С. 98-104.
10. Слюняев А.В., Кокорина А.В., Зайцев А.И., Диденкулова Е.Г., **Москвитин А.А.**, Диденкулов О.И., Пелиновский Е.Н. Зависимость вероятностных распределений высот волн от физических параметров по результатам измерений у острова Сахалин. / Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2023. Т. 16. № 3. С. 18-29.

11. **Москвитин А.А.**, Тихончук Е.А. Гидрологические характеристики водных масс в проливе фриза. / Экологические системы и приборы. 2022. № 8. С. 3-9.
12. Малащенко А.Е., Молчанов П.А., **Москвитин А.А.**, Корытко А.С., Леоненков Р.В., Сидоренко А.И., Кондрашова Е.С., Ким В.С. Дрова Ю.В. Мультистатистическая система объективного контроля надводных и подводных средств морской робототехники в условиях полигона. / Инженерная физика. 2024. № 12. С. 9-21.
13. Ким А.И., **Москвитин А.А.**, Ким Т.Е., Зайцева М.Ю. Исследование распределения солености по акватории водоема. / Экологические системы и приборы. 2023. № 6. С. 67-73.

### **Публикации в научных изданиях ВАК:**

1. **Москвитин А.А.** Натурные измерения водообмена озера лагунного типа с морем. / Экологические системы и приборы. 2023. № 6. С. 59-66.
2. Слюняев А.В., Кокорина А.В., Зайцев А.И., Диденкулова Е.Г., **Москвитин А.А.**, Диденкулов О.И., Пелиновский Е.Н. Зависимость вероятностных распределений высот волн от физических параметров по результатам измерений у острова Сахалин. / Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2023. Т. 16. № 3. С. 18-29.
3. **Москвитин А.А.**, Зайцев А.И., Шибаева М.Ю., Шабрамова Л.С. Влияние волнового воздействия на экологическое состояние озера Тунайча (о. Сахалин). / Экологические системы и приборы. 2020. № 11. С. 53-58.
4. **Москвитин А.А.** Методика бесконтактного измерения уровня воды в лабораторных условиях. / Инженерная физика. 2023. № 5. С. 63-69.
5. **Москвитин А.А.**, Шабрамова Л.С. Использование баз данных предметно-специфических признаков и спектральных характеристик в существующих сервисах обработки спутниковых данных. / Экологические системы и приборы. 2022. № 10. С. 52-58.
6. Зайцев А.И., Леоненков Р.В., **Москвитин А.А.**, Костенко И.С. Натурные измерения гидрологических параметров в сложных условиях. / Датчики и системы. 2013. № 12 (175). С. 44-48.
7. Малащенко А.Е., Зайцев А.И., Костенко И.С., Леоненков Р.В., **Москвитин А.А.** Натурные измерения гидрологических параметров озера Тунайча в ледовый период. / Датчики и системы. 2014. № 12 (187). С. 58-62.
8. Зайцев А.И., Пелиновский Е.Н., Доган Д., Ялченир Б., Ялченик А., Куркин А.А., **Москвитин А.А.** Численное моделирование штормового нагора 5 ноября 2019 года на юге острова Сахалин. / Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36. № 4 (214). С. 396-406.

9. Кокорина А.В., Слюняев А.В., Зайцев А.И., Диденкулова Е.Г., **Москвитин А.А.**, Диденкулова И.И., Пелиновский Е.Н. Анализ данных долговременных измерений волн у острова Сахалин. / Экологические системы и приборы. 2022. № 12. С. 45-54.
10. **Москвитин А.А.**, Тихончук Е.А. Исследования гидрологических характеристик водной среды в районе Курильских островов. / Подводные исследования и робототехника. 2023. № 4 (46). С.78-86.
11. **Москвитин А.А.**, Ким А.И., Шабрамова Л.С., Зайцева М.Ю., Толикина М.Ю. Изменение экологического состояния озера Тунайча (о. Сахалин) в следствии внешнего воздействия. / Экологические системы и приборы. 2022. № 12. С. 98-104.
12. **Москвитин А.А.**, Тихончук Е.А. Гидрологические характеристики водных масс в проливе фриза. / Экологические системы и приборы. 2022. № 8. С. 3-9.
13. Сидоренко А.И., **Москвитин А.А.**, Кондрашова Е.С. Наземная беспилотная автоматизированная гусеничная платформа для обследования снежного покрова в лавиносборах методом георадиолокации. / Инженерная физика. 2024. № 12. С. 3-8.
14. Ким А.И., **Москвитин А.А.**, Ким Т.Е., Зайцева М.Ю. Исследование распределения солёности по акватории водоема. / Экологические системы и приборы. 2023. № 6. С. 67-73.
15. Малащенко А.Е., Молчанов П.А., **Москвитин А.А.**, Корытко А.С., Леоненков Р.В., Сидоренко А.И., Кондрашова Е.С., Ким В.С. Дрова Ю.В. Мультистатистическая система объективного контроля надводных и подводных средств морской робототехники в условиях полигона. / Инженерная физика. 2024. № 12. С. 9-21.

### **Публикации в научных изданиях Scopus:**

1. **Moskvititn A.**, Shabramova L., Zaysev A., Pelinovsky E. Element of the coastal disaster risk information system, taking into account engineering and socio-economic applications. / Lecture Note in Civil Engineering. 2022. Т. 203. С. 89-96.
2. Слюняев А.В., Кокорина А.В., Зайцев А.И., Диденкулова Е.Г., **Москвитин А.А.**, Диденкулов О.И., Пелиновский Е.Н. Зависимость вероятностных распределений высот волн от физических параметров по результатам измерений у острова Сахалин. / Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2023. Т. 16. № 3. С. 18-29.

### **Публикации в других научных журналах и изданиях:**

1. **Москвитин А.А.**, Куркин А.А., Зайцев А.И. Оценка воздействия опасных волновых явлений в заливе Мордвинова (о-в Сахалин). / В сборнике: КОГРАФ -2020. Сборник материалов 30-й Всероссийской

научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам. Нижний Новгород, 2020. С. 317-323.

2. **Москвитин А.А.**, Шабрамова Л.С., Зайцев А.И. Элементы информационной системы прибрежных рисков острова Сахалин, связанных с природными катастрофами. / В книге: Геодинамические процессы и природные катастрофы. Тезисы докладов IV Всероссийская научная конференция с международным участием. Южно-Сахалинск, 2021. С. 88.
3. **Москвитин А.А.**, Шабрамова Л.С. Использование баз данных предметно-специфических признаков и спектральных характеристик в существующих сервисах обработки спутниковых данных. / В книге: КОГРАФ-2022. Сборник тезисов 32-й Всероссийской научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам. Нижний Новгород, 2022. С. 63-64.
4. **Костенко И.С.**, **Москвитин А.А.** Осуществление экологического мониторинга с помощью измерительной станции «ПАГИС». / В книге: Геодинамические процессы и природные катастрофы. Тезисы докладов III Всероссийской научной конференции с международным участием. отв. ред. Л.М. Богомолов. 2019. С. 165.
5. Кокорина А.В., Слюняев А.В., Диденкулова Е.Г., Зайцев А.И., **Москвитин А.А.** Данные долговременных измерений волн у о-ва Сахалин. / В книге: Нелинейные волны – 2022. Тезисы и аннотации докладов. Нижний Новгород, 2022. С. 134-137.

### **Свидетельства о регистрации программных продуктов:**

1. **Москвитин А.А.**, Сидоренко А.И., Кондрашова Е.С. Программа «ЛУЧ», записываемая в микроконтроллер для формирования световых характеристик в светооптических плавучих предостерегающих маяках и навигационных знаках. / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021613937, 16.03.2021. Заявка № 2021610332 от 13.01.2021.
2. Чернов А.Г., Куркин А.А., Тюгин Д.Ю., Зезюлин Д.В., Макаров В.С., Зайцев А.И., **Москвитин А.А.**, Пронин П.И., Зарубин Д.Н., Кузин В.Д., Саблуков Д.С. Береснев П.О., Филатов В.И. Программный комплекс для дистанционного управления катером. / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2016661836, 21.10.2016. Заявка № 2016619116 от 25.08.2016.
3. Зайцев А.И., **Москвитин А.А.**, Куркин А.А., Куркина О.Е., Епифанова А.С., Санников Н.А. Проявление морских природных катастроф на побережье острова Сахалин. / Свидетельство о регистрации базы данных RU 2020622343, 19.11.2020. Заявка № 2020622155 от 09.11.2020