



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра информационных технологий и систем безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Магистерская диссертация)

На тему: Пространственно-временная неоднородность
строения и физических свойств морского льда

Исполнитель Юскаев Даниэль Юрьевич

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

(подпись)

доктор технических наук, профессор

(ученая степень, ученое звание)

Завгородний Владимир Николаевич

(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой**

(подпись)

доктор технических наук, профессор

(ученая степень, ученое звание)

Бурлов Вячеслав Георгиевич

(фамилия, имя, отчество)

« » 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра информационных технологий и систем безопасности

«УТВЕРЖДАЮ»
Заведующий кафедрой

Завгородний В.Н.
(подпись) (фамилия, имя, отчество)
«__» _____ 20__ года

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу

студенту Юскаеву Даниэлю Юрьевичу

(фамилия, имя, отчество)

1. Тема Пространственно-временная неоднородность строения и физических свойств морского льда
закреплена приказом ректора Университета от «__» _____ 20__ года, № _____.
2. Срок сдачи законченной работы «__» _____ 20__ года.
3. Исходные данные к работе

3. Нормативно-правовые документы

3.2 Нормативно-технические документы

...объекты исследования или их компоненты, условия их функционирования, т.п.
4. Основные вопросы, подлежащие разработке (краткое содержание ВКР)
 - Сбор и систематизация натуральных данных по рабочей тематике;
 - Разработка метода перевода изображения текстуры льда круглых пластин в цифровой формат для последующей обработки;
 - Обработка материалов по текстуре льда для льдов различного строения с последующим переводом полученной информации в цифровой режим.;
 - Сравнительный анализ рядов значений предела прочности круглых пластин льда на изгиб с данными о текстурном рисунке этих пластин.
 - Оформить ВКР как рукописный труд, разработка презентации и защита ВКР.
5. Перечень материалов, представляемых к защите:
 - ВКР (пояснительная записка);
 - отзыв руководителя;
 - заключение о проверке работы в системе «Антиплагиат»
 - иллюстративный материал (презентация)
6. Дата выдачи задания: «__» _____ 20__ года
Руководитель выпускной квалификационной работы
доктор технических наук, профессор Завгородний Владимир Николаевич
(должность, ученая степень, ученое звание, фамилия, имя, отчество) (подпись)
Задание принял к исполнению «__» _____ 20__ года
Студент Юскаев Даниэль Юрьевич МД-М22-1
(фамилия, имя, отчество, учебная группа) (подпись)

(оборотная сторона)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| № этапа | Основное содержание работ (развернутое описание действий) | Результаты работ (развернутый перечень ожидаемых результатов) | Срок исполнения |
|---------|---|--|--|
| 1 | Сбор и систематизация натуральных данных по рабочей тематике | Проведен сбор данных по пределу прочности круглых пластин на изгиб для льдов различного строения и данных по строению льда. Проведена систематизация данных по принадлежности к генетическим типам льда. | октябрь 2022 г.– январь 2023 г. |
| 2 | Разработка метода перевода изображения текстуры льда круглых пластин в цифровой формат для последующей обработки | Получение рабочей модели преобразования видимого изображения текстуры круглых пластин льда в цифровой режим, с фиксацией процентного соотношения различных элементов текстурного рисунка. | февраль 2023 г.– июнь 2023 г. |
| 3 | Обработка материалов по текстуре льда для льдов различного строения с последующим переводом полученной информации в цифровой режим. | Получение базы данных цифровых значений текстуры льда для льдов различного строения | Июль 2023 г. – январь 2024 г. |
| 4 | Сравнительный анализ рядов значений предела прочности круглых пластин льда на изгиб с данными о текстурном рисунке этих пластин. | Нахождение зависимости предела прочности круглых пластин льда от строения льда различных генетических типов. | февраль – июнь 2024 г. |

Реферат

Магистерская диссертация: 74 страницы, 24 источников, 43 рисунка.

Ключевые слова: ЛЕД, ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ, КРУГЛЫЕ ПЛАСТИНЫ, ТЕКСТУРА, СТРУКТУРА, ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ, ЗАВИСИМОСТЬ.

Цель исследования: Изучение изменчивости прочностных свойств льда в зависимости от его строения и временных изменений.

Объект исследования: Лед.

Предмет исследования: Прочностные свойства льда.

Методы исследования: наблюдение, аналитический метод, метод сравнительного анализа.

В результате проведения исследования получены выводы:

В ходе проведения исследования было проведено изучение изменчивости изменений. Также получили зависимости предела прочности круглых пластин льда от его строения, через классифицирование льда по структурно-генетическим типам и сравнения изменения прочностных свойств ледовых пластин в разных: прочностных свойств льда в зависимости от его строения и временных

Определили количество вторичных включений в образцах льда на горизонтальных срезах относительно площади всего среза, путем разработки алгоритма перевода изображений текстуры пластин льда в цифровой вид и формированием таблиц с данными. Определили количество площади занятой вторичными включениями относительно общей площади образца для льдов, отобранных в различных точках (в пространстве и во времени). Контрольная точка, район берега и айсбергов.

Провели сравнительный анализ полученных результатов количества вторичных включений в образцах с пределом прочности на изгиб исследуемых образцов, сравнили полученные данные о количестве вторичных включений в образцах для льдов различных генетических типов и данные о их пределе прочности на изгиб.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение..... | 4 |
| 1. Актуальность исследования пространственно-временной неоднородности морского льда и получение исходных данных | 7 |
| 1.1 Цель исследования | 7 |
| 1.2 Обзор Литературы..... | 13 |
| 1.3 Получение исходных данных | 15 |
| 1.4 Выводы по главе..... | 22 |
| 2. Обработка исходных данных | 23 |
| 2.1 Разработка алгоритма для перевода текстуры льда круглых пластин в цифровой для последующей обработки..... | 23 |
| 2.2 Обработка материалов пластин льда по текстур для различных генетических типов | 40 |
| 2.3 Выводы по главе..... | 51 |
| 3 Сравнительный анализ рядов значений предела прочности круглых пластин льда на изгиб с данными о их строении..... | 52 |
| 3.1 Влияние кристаллического строения льда на возможности его разрушения методом измерения предела прочности круглых пластин на изгиб | 52 |
| 3.2 Зависимость предела прочности круглых пластин на изгиб от генетического типа льда при различной температуре | 54 |
| 3.3 Зависимость предела прочности круглых пластин в одном генетическом типе льда на изгиб от текстурных особенностей льда | 59 |

| | |
|--------------------------|----|
| 3.4 Выводы по главе..... | 67 |
| Заключение | 68 |
| Список литературы | 70 |

Введение

Морской лед является одним из важнейших компонентом криосферы Земли, играя в свою очередь значительную роль в климатической системе планеты, а в особенности образования климатической зоны на полюсах (северном и южном). Он охватывает обширные участки полярного региона планеты, действуя как отражающая поверхность, которая влияет на энергетический баланс Земли, отражая солнечный свет обратно в космос. Кроме того, морской лед регулирует обмен тепла, влаги и газов между атмосферой и океаном, влияя на глобальные климатические модели и циркуляцию воды океана. Понимание структуры и физических свойств морского льда, следовательно, необходимо для точного прогнозирования изменения климата и его воздействия на экосистему Земли.

пространственно-временная неоднородность морского льда относится к изменчивости его структуры и физических свойств в разных пространственных масштабах и со временем. Эта неоднородность возникает из-за множества факторов, включая сложное взаимодействие между ростом льда, таянием, деформацией и влиянием внешних сил, таких как ветер и океанские течения. Изучение пространственно-временной неоднородности дает представление о процессах, которые формируют морской лед, его реакцию на изменение климата и его влияние на окружающую среду.

Эта работа направлена на исследование пространственно-временной неоднородности структуры и физических свойств морского льда. Понимая процессы, протекающие морского льда, можно строить прогностические модели поведения морского льда и улучшить наше понимание климатической системы Земли, а также может способствовать развитию морского судоходства в районах, где на данный момент оно затруднено.

Структура морского льда относится к его физическому расположению, включая размер, форму и распределение кристаллов льда, а также наличие

пустот, рассол и других микроструктурных признаков. Физические свойства морского льда охватывают широкий спектр характеристик, такие как плотность, соленость, теплопроводность и механическая прочность. Эти свойства влияют на динамику морского льда, его взаимодействие с окружающей средой и ее реакцию на внешние силы.

Одна из ключевых проблем при изучении пространственно-временной неоднородности морского льда заключается в его неотъемлемой сложности и изменчивости. Морской лед – очень динамичная и постоянно меняющаяся среда, в зависимости от постоянного роста, таяния и деформации. Его свойства могут значительно варьироваться в разных регионах, сезонах и типах льда, что затрудняет захват в полной мере его неоднородности. Более того, удаленная и суровая среда, в которой формируется морской лед, создает логистические проблемы для сбора и анализа данных.

Чтобы преодолеть эти проблемы, ученые используют комбинацию полевых наблюдений, методов дистанционного зондирования и численного моделирования, чтобы исследовать пространственно-временную неоднородность морского льда. Полевые наблюдения включают прямые измерения и выборку свойств морского льда на месте, предоставляя ценные данные о направленности дальнейших научных изысканий. Методы дистанционного зондирования, такие как спутниковые образы и воздушные обследования, предлагают более широкую перспективу и позволяют с течением времени проводить мониторинг крупномасштабных изменений в свойствах морского льда. Численные модели имитируют поведение морского льда на основе физических законов и уравнений, что позволяет исследователям моделировать основные процессы и делать прогнозы о будущих изменениях ледовой обстановки в регионе.

Эта работа рассмотрит существующую литературу по структуре и физическим свойствам морского льда.

В заключение, пространственно-временная неоднородность структуры и физических свойств морского льда-сложная и многогранная тема, которая играет важную роль в нашем понимании климатической системы Земли. Исследовав факторы, которые способствуют этой неоднородности и используя различные методологии, ученые могут получить представление о поведении морского льда, его реакции на изменение климата и его влияние на окружающую среду. Эта работа направлена на то, чтобы внести свой вклад в существующий совокупность знаний о гетерогенности морского льда, подчеркивая его важность для моделирования климата и мониторинга окружающей среды.

изучение пространственно-временной неоднородности структуры и физических свойств морского льда очень актуально из-за ее значительного влияния на различные аспекты климатической системы Земли. Морской лед действует как критический компонент криосферы, регулируя глобальные обмены тепла и энергией, влияя на модели циркуляции океана и обеспечивая среду обитания для многочисленных организмов. Понимание гетерогенной природы морского льда, включая его пространственные и временные различия в структуре и физических свойствах, имеет решающее значение для точного прогнозирования ее реакции на изменение климата, оценку ее роли в энергетическом балансе Земли и оценки его последствий для морских экосистемы и человеческой деятельности. в полярных регионах.

Объект исследований в работе "пространственно-временная неоднородность структуры и физических свойств морского льда" — это морской лед, в частности, его структура и физические свойства. Морской лед — это сложный и динамичный материал, который играет решающую роль в климатической системе арктического района Земли. Понимание его структуры и физических свойств необходимо для прогнозирования его поведения и формирования и изменения во времени.

1 Актуальность исследования пространственно-временной неоднородности морского льда и получение исходных данных

1.1 Цель исследования

Цель исследования: Изучение изменчивости прочностных свойств льда в зависимости от его строения и временных изменений.

Задачи исследования:

Получение зависимости предела прочности круглых пластин льда (прибор ПИМ) от его строения, через классифицирование льда по структурно-генетическим типам (по классификации Черепанова Н. В.) и сравнения изменения прочностных свойств ледовых пластин в разных:

1 Определение количества вторичных включений в образцах льда на горизонтальных срезах относительно площади всего среза.

- разработка и отработка алгоритма определения площади образца занятой вторичными включениями относительно площади всего образца.

- определение количества площади занятой вторичными включениями относительно общей площади образца для льдов, отобранных в различных точках (в пространстве и во времени). Контрольная точка, район берега и айсбергов.

2 Сравнительный анализ полученных результатов количества вторичных включений в образцах с пределом прочности на изгиб исследуемых образцов.

- выявление кристаллического строения вертикальных слоев льда с выделением слоев различных генетических типов для льда, взятого в различных точках.

- сравнение полученных данных о количестве вторичных включений в образцах для льдов различных генетических типов и данных о пределе прочности на изгиб.

Данные задачи (анализ) основываются на структурно-генетической классификации льда Черепанова Н.В., выдержки которой приведены ниже:

Текстура льда

Текстура льда, одна из ключевых составляющих его строения, включает в себя форму и распределение воздушных и солевых включений внутри льда. Важно отметить, что лед, лишенный включений, не обладает характерными текстурными признаками, независимо от его кристаллической структуры. Как правило, включения подразделяют на две основные группы: первичные и вторичные. Первичные включения формируются в процессе кристаллизации воды и делятся на автогенные, которые образуются из растворенного в воде воздуха и солей, и ксеногенные, которые происходят от посторонних примесей, таких как воздушные пузырьки, минеральные и органические частицы. С другой стороны, вторичные включения образуются после образования льда и включают гипогенные, встроенные в толщу льда через трещины или поры, и гипергенные, находящиеся в сообщающихся порах и трещинах. Кроме того, существуют включения, образованные в результате процессов термометаморфизма льда, что добавляет еще больше разнообразия включений во льду. Общее количество воздушных включений в пресном льде может колебаться в широких пределах, иногда составляя до 50% его объема. Каждый тип включений характеризуется своей уникальной формой, количеством, размерами, а также взаимным расположением и распределением внутри льда. [22]

“Условия ледообразования и тип происхождения включений могут влиять на их характеристики. Например, при быстром замерзании воды на нижней поверхности льда могут образовываться пузырьки из растворенного в

воде воздуха. Скорость намерзания также влияет на количество и размер включений во льду. Важно отметить, что каждый тип включений имеет свою уникальную историю, которая отражается в их структуре и распределении во льду. Характер включений во льду тесно связан с условиями их происхождения. Например, включения во льду, образованные в разных климатических зонах или в разное время, могут иметь различные характеристики и свойства. Также важно учитывать, что процессы метаморфизма льда могут изменять структуру и форму включений, создавая удивительные узоры и текстуры в ледяных образованиях.” [22] Типы текстур пресного льда представлены на рис1.[22]:

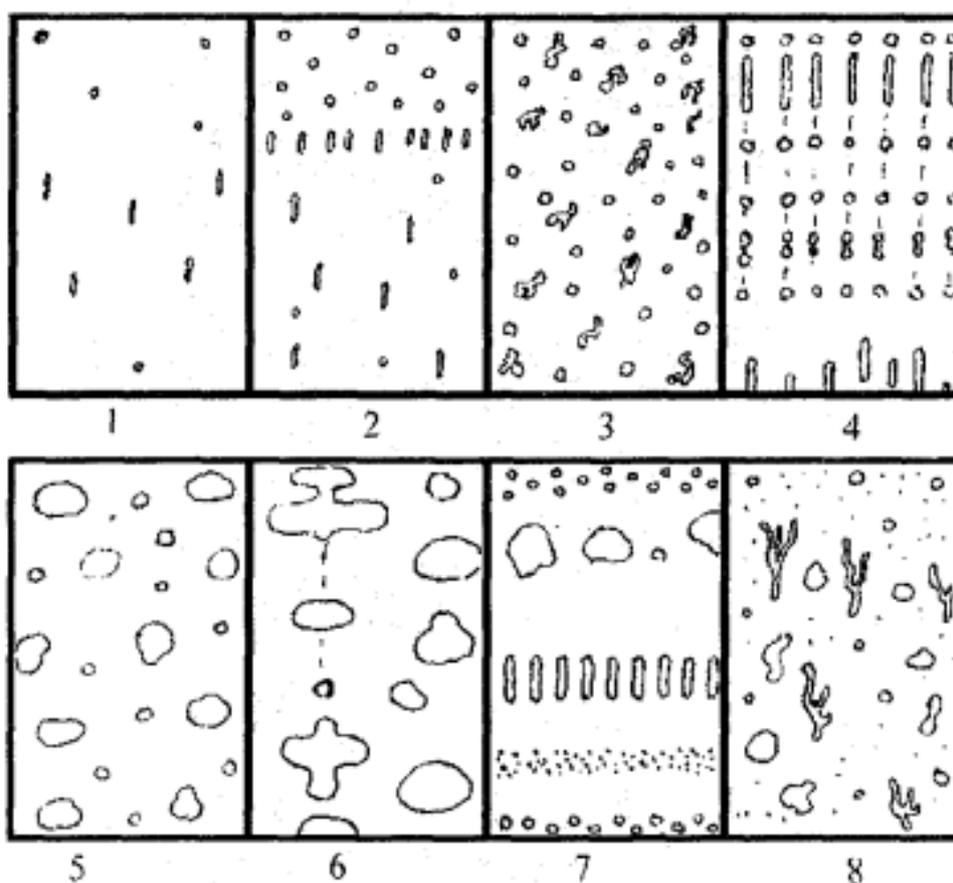


Рис. 1 Типы текстуры льда

1 монолитный; 2 мелкопузыристый; 3 среднепузыристый; 4 с трубчатыми воздушными включениями; 5 крупнопузыристый; 6

крупнополостной; 7 слоистый; 8 с многообразной неупорядоченной структурой.

В свою очередь, чтобы дать характеристику текстуре морского льда, нужно определить его солевой и фазовый состав. Содержание и распределение солей в морском льду тесно связаны с его внутренней структурой и скоростью формирования. При одинаковых условиях замерзания размеры и формы солевых включений зависят от кристаллической структуры льда. Чем мельче кристаллы, тем более разнообразными являются формы и размеры солевых включений.

Процесс миграции солевых включений в льду под воздействием температурных градиентов, радиационного прогрева и других факторов приводит к значительным изменениям в текстуре льда. Солевые включения, двигаясь вниз, образуют сложную систему из трубчатых и капиллярных пор, стоковых каналов и русел. В нижних слоях ледяного покрова рассол может накапливаться в крупных порах объемом до 600 см^3 , в то время как в верхних слоях поры, освобожденные от солей, частично или полностью заполняются воздушными включениями [22]. Солевые включения могут быть распределены на шесть основных видов в зависимости от их внешнего вида и формы, они продемонстрированы на рисунке 2

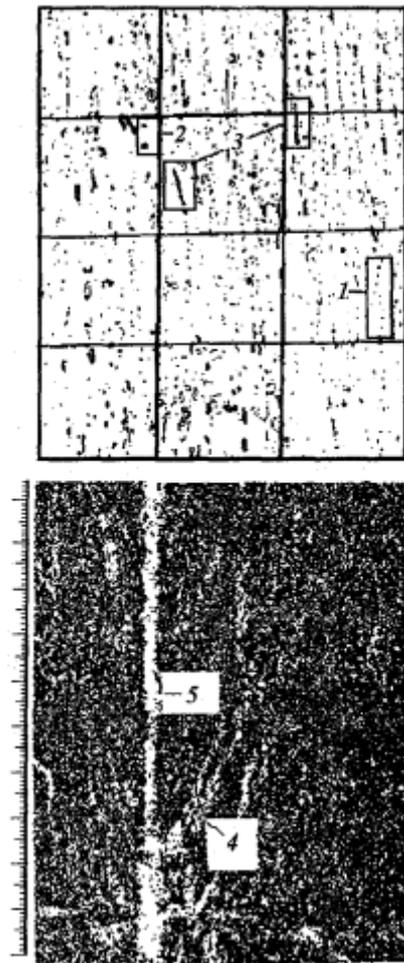


Рис. 2 Включения рассола соли в морском льду

1— мельчайшие ячейки; 2 — мелкие сферические включения (ячейки рассола); 3 — капиллярные поры; 4 — стоковые канальца; 5 — стоковые русла. Сторона квадрата сетки 1 см.

Структура льда

Лед – это материал, который имеет сложную кристаллическую структуру. Под структурой льда понимается особенность его строения, которая определяется формой, размерами, ориентировкой кристаллов и их взаиморасположением. Кристаллы льда представляют собой твердые тела с трехмерно-периодической атомной структурой, что позволяет им образовывать форму многогранников.

Кристаллы льда состоят из базисных пластин, которые являются элементарными пластинами, разделенными плоскостями ослабления или областями трансляции, на которой формируются базисные пластины, называется базисной и ориентирована перпендикулярно главной кристаллографической оси или С-оси. [22] В одноосных кристаллах главная кристаллографическая ось совпадает с главной оптической осью, которая является направлением, по которому не происходит двойное лучепреломление. [22]

Кристаллическая структура льда определяется несколькими элементами. Это форма кристаллов, их размеры, пространственная ориентировка и степень упорядоченности, отношение кристаллической ориентировки к внешней форме, а также соотношение между размерами и формой кристаллов с включениями. Сложная кристаллическая структура льда делает его уникальным постоянно изменяющимся материалом с удивительными свойствами. [22]

Кристаллы, или зерна, в ледяных структурах могут различаться как по форме, так и по размерам, что влияет на их характеристики. Первым важным различием является деление на равномерно зернистые и неравномерно зернистые структуры. В равномерно зернистых структурах размеры кристаллов изменяются в небольших пределах, в то время как в неравномерно зернистых структурах присутствуют кристаллы различных размеров [22]. Следующее различие основано на форме развития кристаллов. Одномерные кристаллы развиваются в основном вдоль главной кристаллографической оси или в направлении одной из побочных осей, при этом в условиях ограниченного роста они могут принимать волокнистую форму. Двухмерные кристаллы имеют преимущественное развитие в базисной плоскости по направлению побочных осей. Трехмерные кристаллы развиваются в направлении как главной, так и побочных осей, и в зависимости от степени развития могут образовывать изометрические и столбчатые формы.

Важно отметить, что в условиях ограниченного роста кристаллы льда никогда не приобретают правильной формы, известной как идиоморфная. Их форма искажается под воздействием окружающих кристаллов. Если кристаллы имеют сложную неправильную форму, такие структуры льда называют неправильно зернистыми или аллотриоморфными. В то же время, структуры с кристаллами, обладающими относительно правильными формами граней, называют гипидиоморфными [22].

Размеры кристаллов могут значительно варьировать. Максимальный размер кристаллов, найденных в льдах, формирующихся при очень низких температурах, обычно не превышает 0,05—0,07 см. Однако наиболее крупные кристаллы, известные как кристаллы-гиганты или монокристаллы, обычно образуются в пресных и распресненных водоемах при температуре -1-5- -5 °С и могут достигать в поперечном сечении впечатляющих 100—150 см [22].

Большинство кристаллов имеют размеры в диапазоне от 0,01 до 5,0 см для изометрических структур и от 0,1 до 30 см для волокнистых.

Изометрические кристаллы могут быть классифицированы в зависимости от их размеров. Таким образом, разнообразие форм и размеров кристаллов в ледяных структурах является важным аспектом исследований физических свойств льда. [22]

1.2 Обзор Литературы

Морской лед образуется в процессе замерзания морской воды, что происходит, когда температура воды падает ниже точки замерзания. На формирование морского льда влияют различные факторы, включая температуру воздуха, соленость, океанские течения, ветер и волновое действие. Эти факторы способствуют развитию различных типов морского льда.

Ледяной покров морей полярных областей является уникальным и разнообразным по своей структуре и свойствам. Он состоит из льдов различных типов, отличающихся как кристаллической структурой, так и текстурой [22].

Кристаллическая структура льда включает расположение кристаллов, их размер, форму и ориентировку. Текстура льда включает количество и распределение газовых и солевых включений, их форму и размер. Гидрометеорологический режим водоема играет ключевую роль в формировании различных типов льда. Важными элементами гидрометеорологического режима являются термическое состояние воды, волнение, течение, выпадение атмосферных осадков, взлом и торошение льда, наличие полыней и распространение пресного стока. Помимо льда, образованного замерзанием морской воды, в ледяном покрове также встречаются пресные и распресненные льды.

Отличие условий ледообразования в морской воде от пресной включает наличие растворенных солей. При статических условиях ледообразования, когда отсутствуют ветер, волны и течения, в пресноводных водоемах формируется устойчивая стратификация, способствующая росту кристаллов льда в поверхностном слое. Таким образом, при изучении структуры ледяного покрова необходимо учитывать разнообразие факторов, влияющих на процесс его формирования как в морских, так и пресных водоемах [22]. Важно понимать, что каждый элемент гидрометеорологического режима играет свою роль в создании уникальных форм и свойств льда в полярных областях.

Ледообразование в морской воде отличается от пресной из-за наличия растворенных солей. Это различие особенно заметно в статических условиях, когда нет ветра, волнений и течений. В пресноводных водоемах при охлаждении водной массы обычно формируется устойчивая стратификация по плотности и температуре, что способствует образованию льда. Однако в морской воде с соленостью более 24,7 промилле происходит вертикальная

циркуляция, называемая зимней конвекцией. Этот процесс приводит к снижению температуры поверхностного слоя воды до точки замерзания, создавая иные условия для образования льда. Когда зимняя конвекция активизируется, толщина конвективного слоя может значительно колебаться и достигать нескольких десятков метров. Эти изменения в термическом и солевом составе поверхностного слоя воды оказывают значительное влияние на дальнейшее формирование текстуры и кристаллической структуры льда. Начальные этапы ледообразования в морской воде имеют свои особенности, которые определяются этими процессами.[22]

Кроме того, важно отметить, что наличие растворенных солей в морской воде не только влияет на процессы ледообразования, но также оказывает влияние на морскую фауну и флору. Многие организмы, обитающие в морской среде, имеют адаптации к изменениям в солёности воды, что позволяет им выживать в условиях, которые могли бы быть неблагоприятными для других видов.

Таким образом, понимание различий между процессами ледообразования в морской и пресной воде не только помогает нам лучше понять физико-химические процессы в природе, но и расширяет наши знания о взаимосвязи между составом воды, окружающей средой и живыми организмами.

1.3 Получение исходных данных

Алгоритм проведения исследований представлен на рисунке 3 В первый этап исследования были получены исходные данные, этот этап исследований проводился в ходе экспедиции. Результаты этого этапа были предоставлены и использованы для проведения исследований в данной выпускной работе.

Исходные данные были получены в ходе экспедиции на НИС «Ледовая база Мыс Баранова» (мысе Баранова) в 2018 году, а именно для исследований

текстурно-структурных изменений отбирается керн для анализа (выбуривается из ледяного покрова).

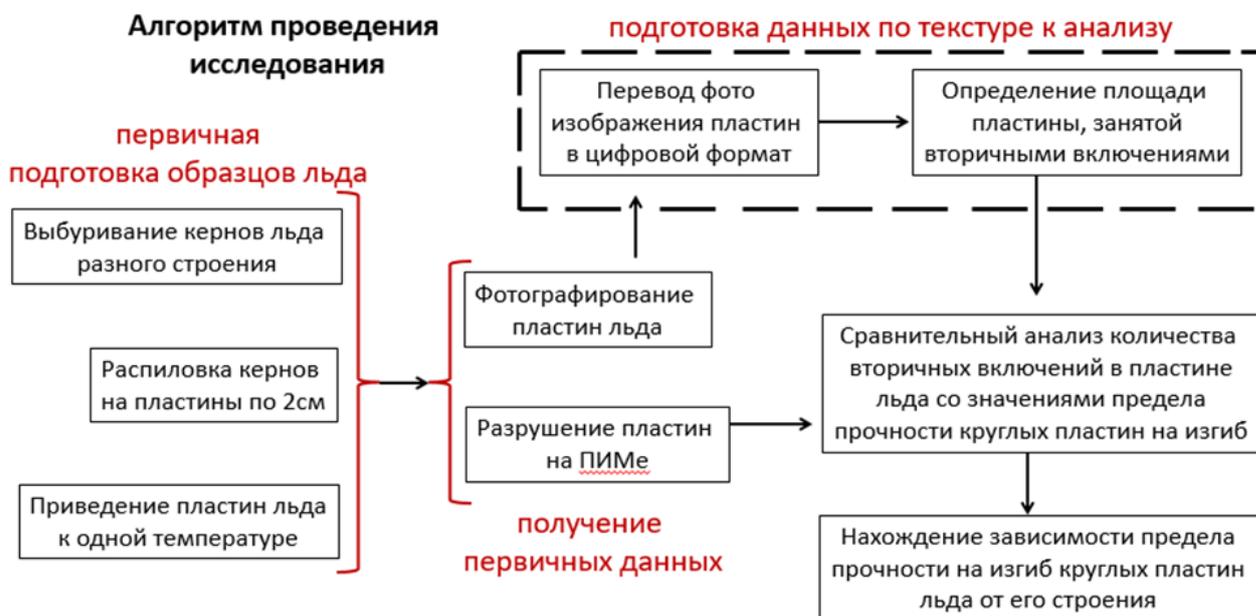


Рис.3 Алгоритм проведения исследования

Первый этап включает в себя:

1 Отбор проб льда и подготовка образцов к анализу (первичная подготовка образцов льда (рис.3)):

1.1 отбор проб для исследования на основном ледовом полигоне (контрольная точка), и в местах с отличным от контрольной точки строением:

1.2 приведение пластин к температуре окружающей среды.

Керн ориентируется. Выбуренный керн помещается в закрытое помещение или ящик, где исключается воздействие солнечной радиации, и где керн находится до тех пор, пока лед по всей толщине ледового керна не примет значения температуры окружающей среды. Данная процедура занимает по времени примерно одни сутки. По прошествии данного времени, керн фотографируется на черном фоне с приложенной к нему линейкой (рис.4) для фиксации слоистости льда

1.3распил кернов на пластины льда толщиной по 2 см.(рис.5)

Распиловка керн и давление пластин льда на прессе ПИМ проводится в следующем порядке:

- На верхней стороне лежащего керн острым концом ножа проводится продольная линия от вершины керн до его окончания. Далее эта линия выделяется грифелем мягкого карандаша для лучшего зрительного восприятия.

- Мягким карандашом вдоль проведенной линии выполняется разметка керн на участки равные предполагаемой толщине дисков для испытания прочности. Отдельно, (для контроля) более длинными линиями выделяются участки кратные 10см (10, 20, 30, и т.д.), которые помечаются соответствующей цифрой.

- Выполняется распиловка кернов на диски. При распиловке керн на диски необходимо соблюдать следующие правила:

- распиловка керн начинается с верхней части
- верхний слой, примерно 1см срезается, но сохраняется для фотографирования

- при последующей распиловке на верхней стороне диска со стороны продольной линии ножом делается метка, в виде небольшого надреза V-образной формы.

- диски укладываются на ровную поверхность в порядке распиловки, начиная с верхней части льда.

- на дисках кратным 10см, для контроля сохранения последовательности расположения дисков, делается метка (примораживается маленькая бумажка с цифрой горизонта (10, 20 .30 и т.д.))

- горизонт, с которого делается диск, должен соответствовать верхней части диска (например: диск под №10 при толщине диска 2см будет захватывать слой 10-12см, где горизонт 10см будет соответствовать верхней поверхности диска.)



Рис.4 Фотографирование керна льда



Рис.5 Распиловка керна на пластины

2.Получение первичных данных:

2.1 Подготовка образцов льда к фотографированию с последующим фотографированием срезов, а именно:

- фотографирование дисков выполняется на темной поверхности в последовательности от верхней части льда к низу (при толщине диска 2см - 0см, 2см 4см ...)

- диск помещается на темную поверхность (черная ткань или др.) и подбирается освещение позволяющее проводить съемку и исключающее блики. Для лучшей четкости снимка поверхность льда можно легко прогладить открытой ладонью, что снимает небольшой налет, появляющийся во время распиловки.

- съемка выполняется таким образом, чтобы метка на верхней поверхности диска находилась строго впереди от фотографа (Рис.6)



Рис. 6 Образец фотографии диска.

- со стороны метки прикладывается линейка (метр), на котором цифра, соответствующая горизонту диска, была бы прямо против метки. Необходимо стараться, чтобы метр и верхняя поверхность диска находились на одном уровне.

- после подготовительных операций проводится фотосъемка образца.

- применение линейки и порядок фотографирования дисков позволит идентифицировать фотографию с диском относительно горизонта, с которого взят образец, и устраняет необходимость фиксировать номер фотографии и горизонт в отдельном месте.

- полученные фотографии необходимо обработать, обрезав так, чтобы края снимка приходились на край диска, а в верхней части оставалась линейка (метр) с четко видимыми цифрами. Сам снимок необходимо выполнять так, чтобы фиксируемый диск был по центру, а с боков, сверху и снизу оставалось некоторое место, чаще всего имеющее искажения. Эта часть снимка после обработки будет отрезана и останется качественная фотография образца льда.

- метки примороженные для контроля последовательности расположения дисков во время фотографирования необходимо снять.

- обработанной фотографии присваивается название, включающее номер керна и горизонт, с которого взят образец (соответствующий верхней поверхности диска). Например, керн E1.14 x18/120см (Рис. 7)

- обработанной фотографии присваивается название, включающее номер керна и горизонт, с которого взят образец (Рис.5)

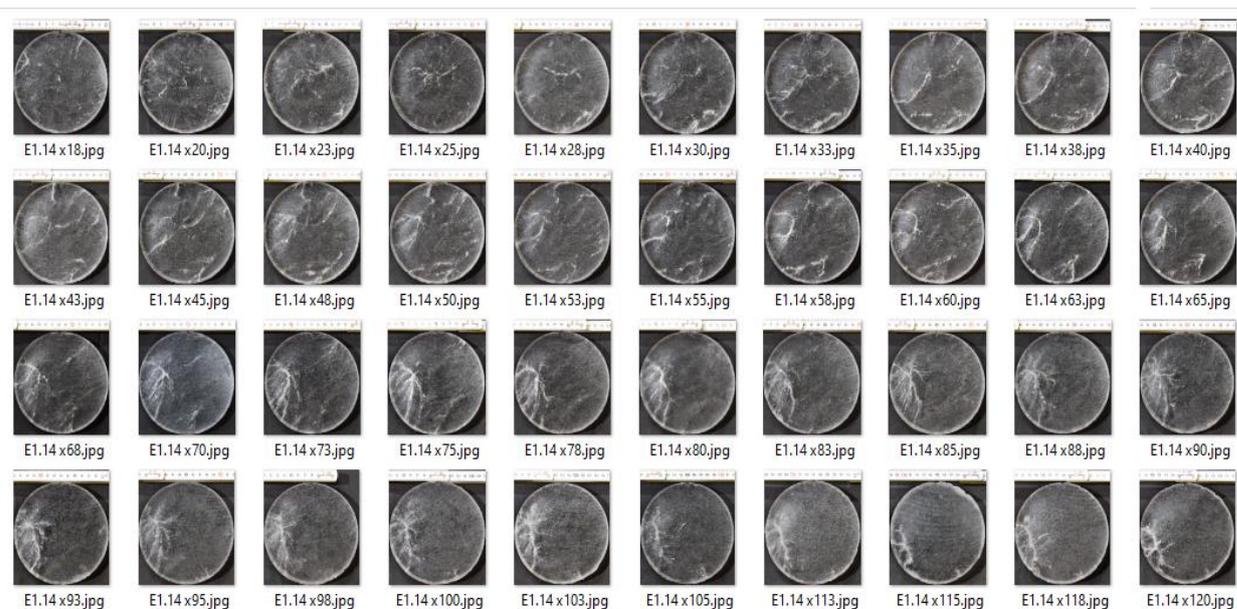


Рис. 7 Образцы фотографий дисков с одного ядра.

2.2 Испытания прочности на изгиб круглых дисков:

- испытания предела прочности круглых дисков на изгиб выполняется согласно правилам проведения подобных испытаний.
- испытания проводятся в порядке от дисков, соответствующих верхним горизонтам к низу.
- при испытаниях измеряется толщина дисков в 3-4 точках, которая фиксируется в полевом журнале (с точностью до 0,1 мм).
- измеряется температура окружающей среды в месте испытания, которая принимается за температуру льда (необходимо исключить резкие изменения температуры окружающей среды в момент испытания, относительно температуры льда).
- при испытании фиксируется количество кусков, на которые распадается образец при разломе.

2.3 Полученные результаты:

- полученные результаты на прессе ПИМ представляются в табличном виде (Excel)

В таблице должно быть указано:

- дата отбора керна
- метрические параметры льда в месте работ (высота снега на льду, толщина льда, превышение поверхности льда над поверхностью воды)
- температура воздуха, температура снега, температура снег/лед
- горизонты согласно распиленным дискам.
- толщина диска для данного горизонта, диаметр рабочего кольца, показания датчика давления, вычисленное усилие в кг и Мпа.
- фотографии дисков помещаются в отдельную папку, которая в маркировке должна иметь № керна (или дату отбора керна), метку Хастыр (например надпись Хастыр в начале маркировки), и надпись «Х срезы» (в эту же папку можно поместить фотографии не распиленного керна). В другую папку необходимо поместить фотографии вертикальных срезов льда с контрольной точки полигона, вблизи которой произведен отбор исследуемого керна.
- отдельно прилагаются данные по температуре, солености, плотности льда и результаты измерения на ПИМ в полевых условиях, если они проводились.

1.4 Выводы по главе

В данной главе были рассмотрены теоретические аспекты развития формирования морского льда и его строения на основе современных литературных источников, а также рассмотрен процесс сбора исходных данных по пределу прочности круглых пластин на изгиб для льдов различного строения и данных по строению льда.

2 Обработка исходных данных

2.1 Разработка алгоритма для перевода текстуры льда круглых пластин в цифровой для последующей обработки.

Алгоритм перевода текстурного рисунка с изображений пластин льда, а именно включений зародившихся и развившихся непосредственно в ходе процесса кристаллизации морской воды, а также стоковых канальцев, образовавшихся входе термометаморфизмов (внутреннем таянии, рекристаллизации и т.д.) [], представлен на рисунке 8.

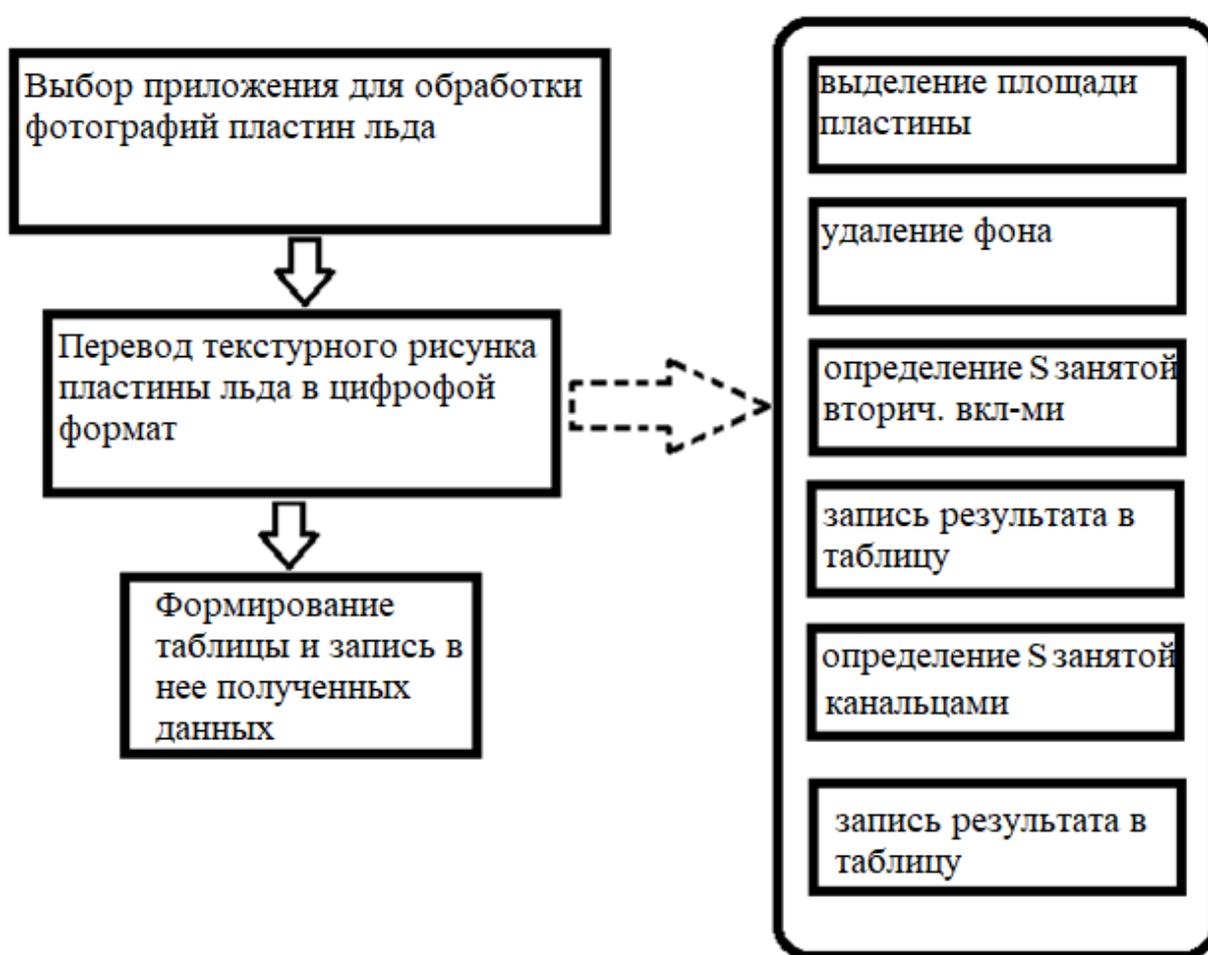


Рис. 8 Алгоритм перевода текстуры в цифровой формат

Обработка образцов срезов ледовых пластин керна выбуренного в ходе работ на мысе Баранова, производилась в свободно доступном в сети интернет фоторедакторе GIMP 2.10.4 (также для этого можно использовать и прочие версии, например, более новые или другое программное обеспечение приложений для работы с изображениями). Изначально, данное приложение было выбрано с целью получения данных о площади канальцев, созданных вторичными включениями от общей площади ледовой пластины. В дальнейшем также была поставлена и реализована задача о вычислении площади всех вторичных включений.



Рис.9 Запуск программы

Данная программа, представленная на рис.9 была выбрана из-за возможности работы с цветовыми каналами, в том числе, выделение определенных оттенков и возможностью подсчета пикселей. В дальнейшем это дало возможность пересчитать пиксели на проценты и сантиметры реальной площади.

Недостатком метода можно выделить то, что каждый раз в вычисленные цифры попадает погрешность за количество выделенных оттенков цветов и как следствие разницу в пиксельном размере, а в дальнейшем и площадном. Однако, если приблизительно выделять одинаково насыщенно каналы, то погрешность не должна влиять на общую тенденцию измерения изменения площадей.

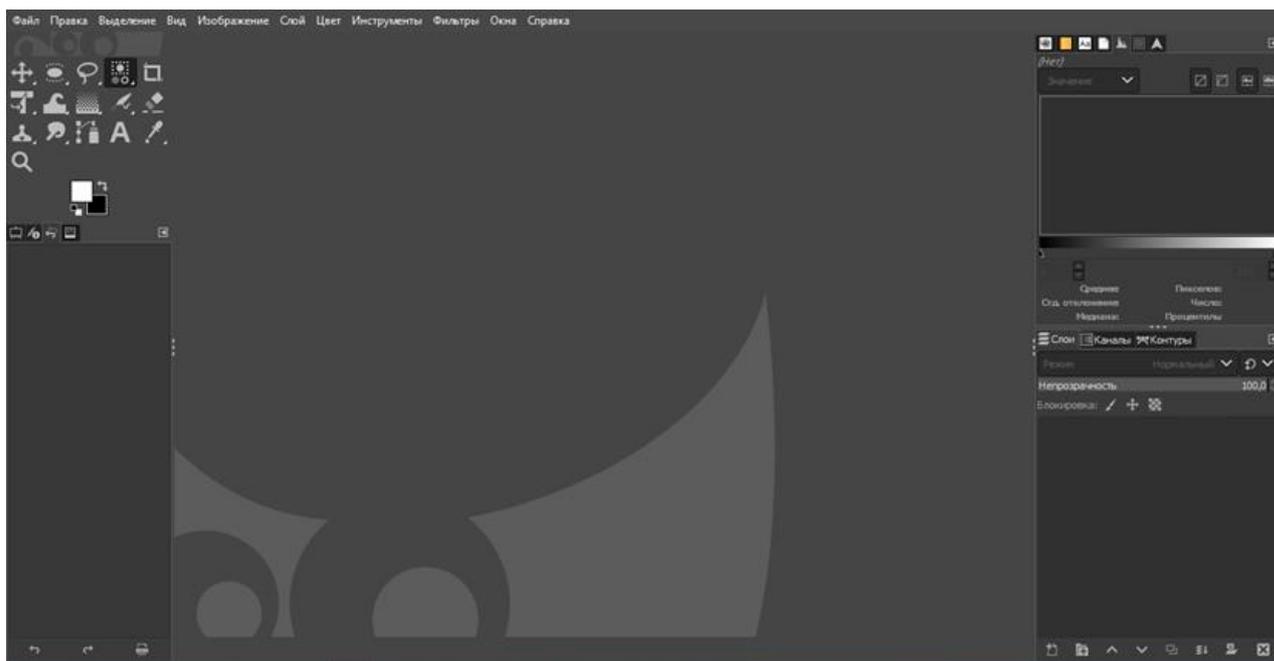


Рис.10 Рабочее окно фоторедактора.

У данной программы простой и удобный в использовании интерфейс рабочего пространства, который представлен на рисунке 10, это позволяет работать в интуитивно-понятном диапазоне, в том числе и интерфейс на русском языке, а также эта программа обладает большими функциональными возможностями.

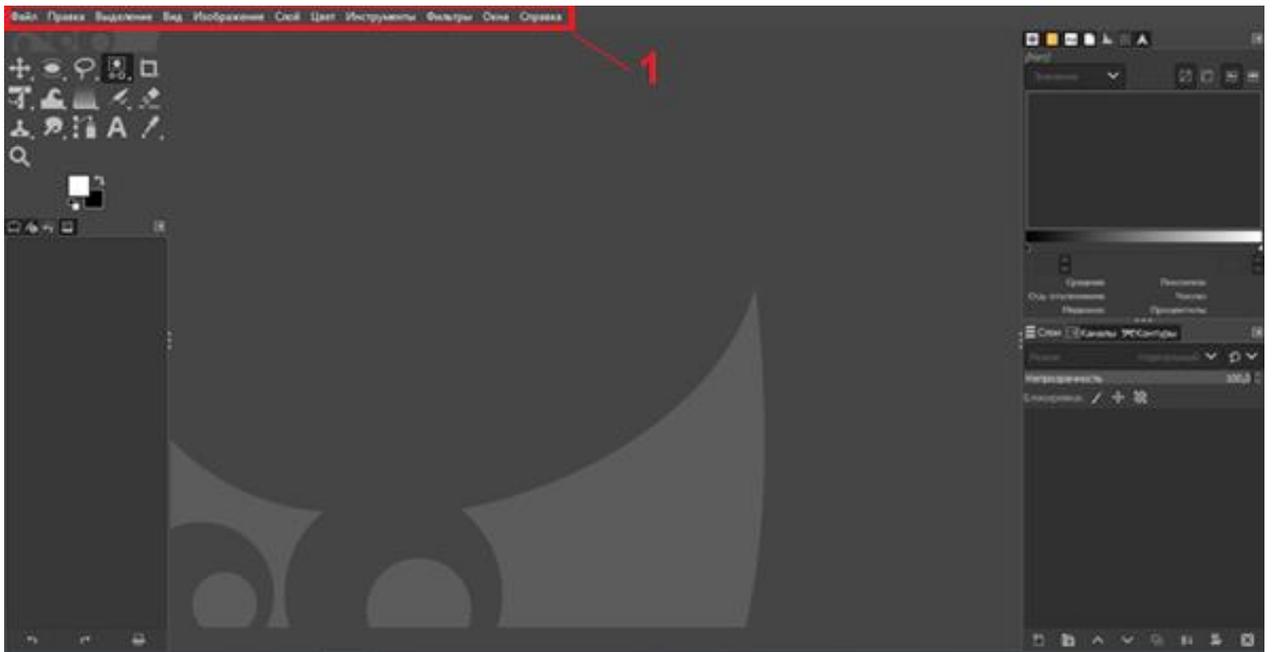


Рис.11 Операторы программы

У данного приложения по работе с изображениями лаконичный и удобный интерфейс на русском языке и большие функциональные возможности. Рабочее поле программы представляет из себя, помимо самой рабочей зоны для обработки изображения, набор инструментов в верхней части под номером один рис.11 которая состоит из набор ключевых слов, являющихся своего рода маркерами с помощью, которых реализуется одна из функциональных возможностей фоторедактора, в свою очередь при наведении курсора мышки на данные слова раскрывается список из возможных вариантов действий для осуществления той или иной задачи. Также в левой части рабочего пространства данного приложения располагаются окно, показывающее гистограмму загруженного изображения, это отражено на рис.12 под цифрой 2, и отображающее как общее количество пикселей всего изображения, так и выделенной области, либо количество пикселей имеющих один и тоже цветовой градиент, что в свою очередь необходимо для вычисления площади занятой вторичными включениями на изображении пластины ледового керна

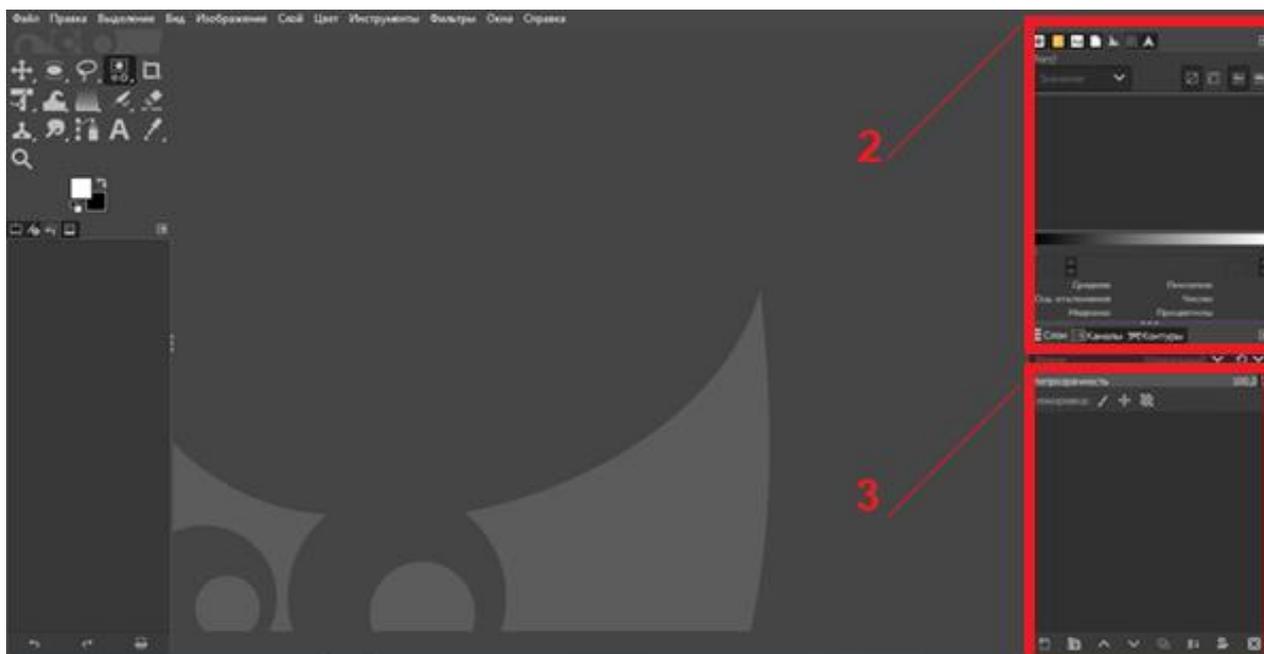


Рис.12 Область гистограммы и поле для работы со слоями

Под цифрой 3, на рисунке 12 находится поле для работы со слоями изображений, данная функция полезна при работе с большим количеством изображений и позволяет наслаивать одну подложку с фотографией на другую, при этом меняя прозрачность верхнего слоя можно видеть процесс перемещения вторичных включений по площади пластины льда с увеличением горизонта, а также различия общего текстурного рисунка создаваемого этими включениями и термометаморфизмами и его ориентирование в пространстве между двумя и более пластинами.

Нас же для решения поставленной задачи, а именно вычисление площади вторичных включений в пластине среза ледового керна, в первую очередь интересует следующие функции работы с изображениями срезов ледовых пластин керна представленные на примере обработки одного из изображений пластины льда:

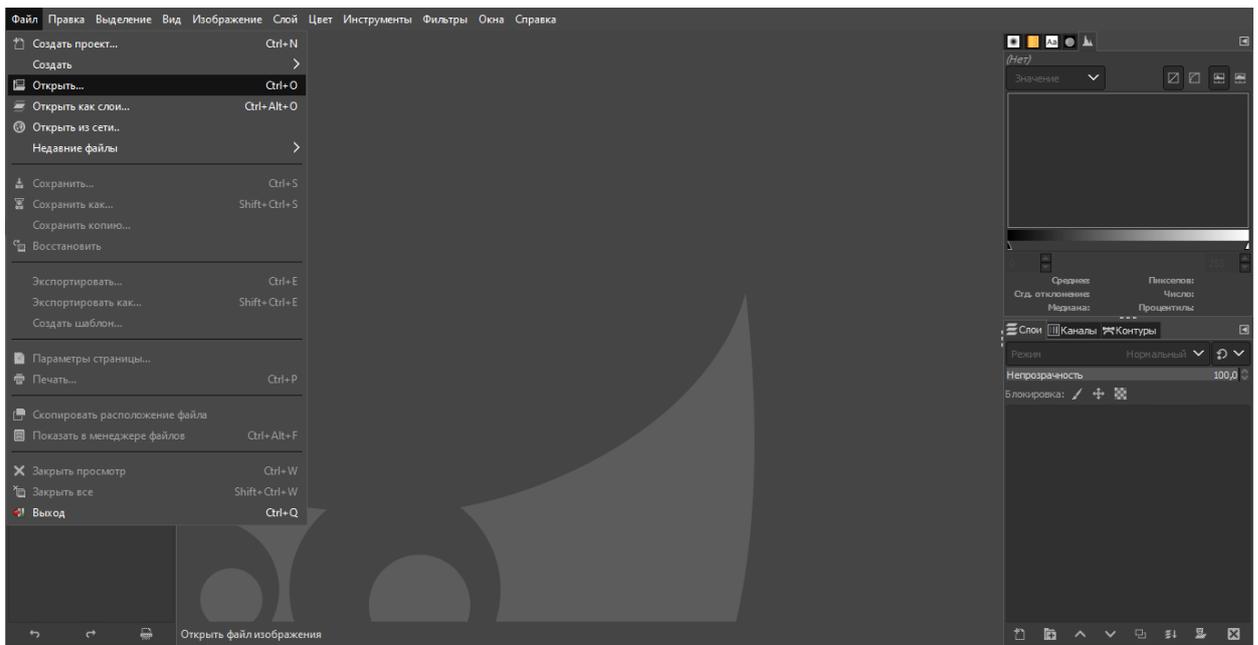


Рис.13 Открытие файла изображения

Изображение загружается через открытие его в приложении фоторедактора, а именно курсор мыши наводится на ключ-слово 'файл', затем в сплывающем списке выбирается действие 'открыть...' как показано на рис. 13

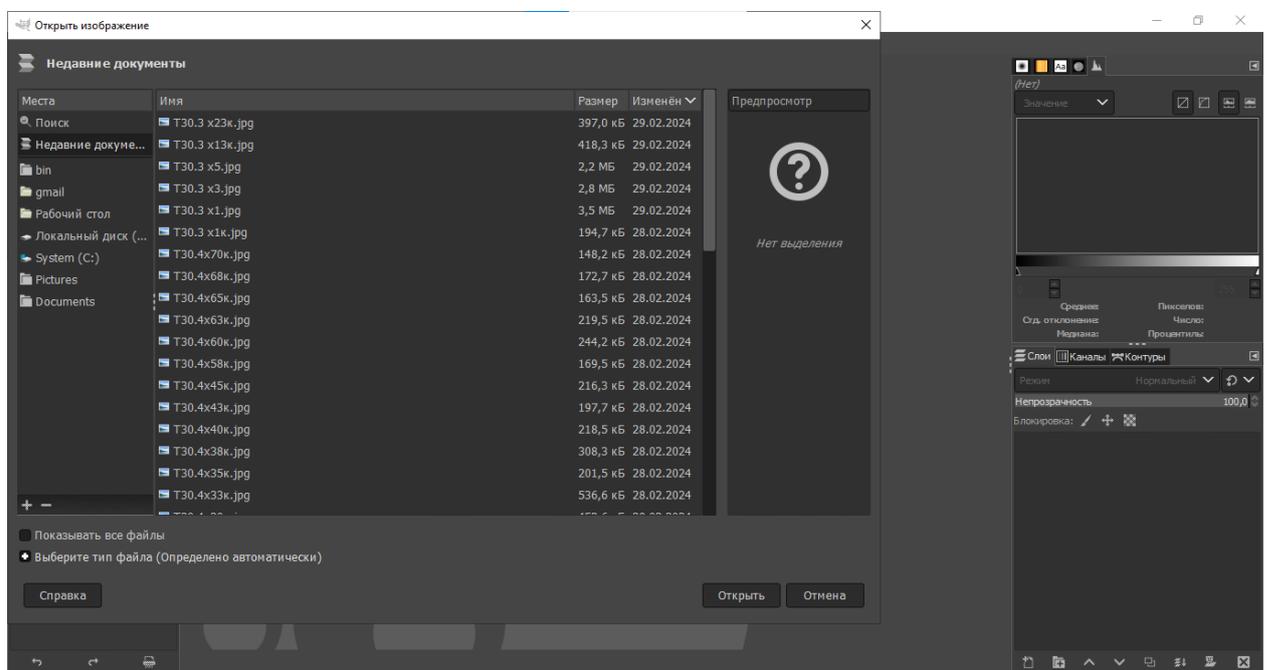


Рис.14 Папка с исходными изображениями

После открытия папки предоставляется выбор загрузки изображений (рис.14) из находящихся в этой фотографии, можно выбрать опцию показа всех

файлов находящихся в папке, это может быть полезно если обрабатываемое фото имеет другой формат. По умолчанию предоставляется список из файлов определенных автоматически программой (те форматы которые могут “читаться”). В нашем случае формат файлов .jpg.

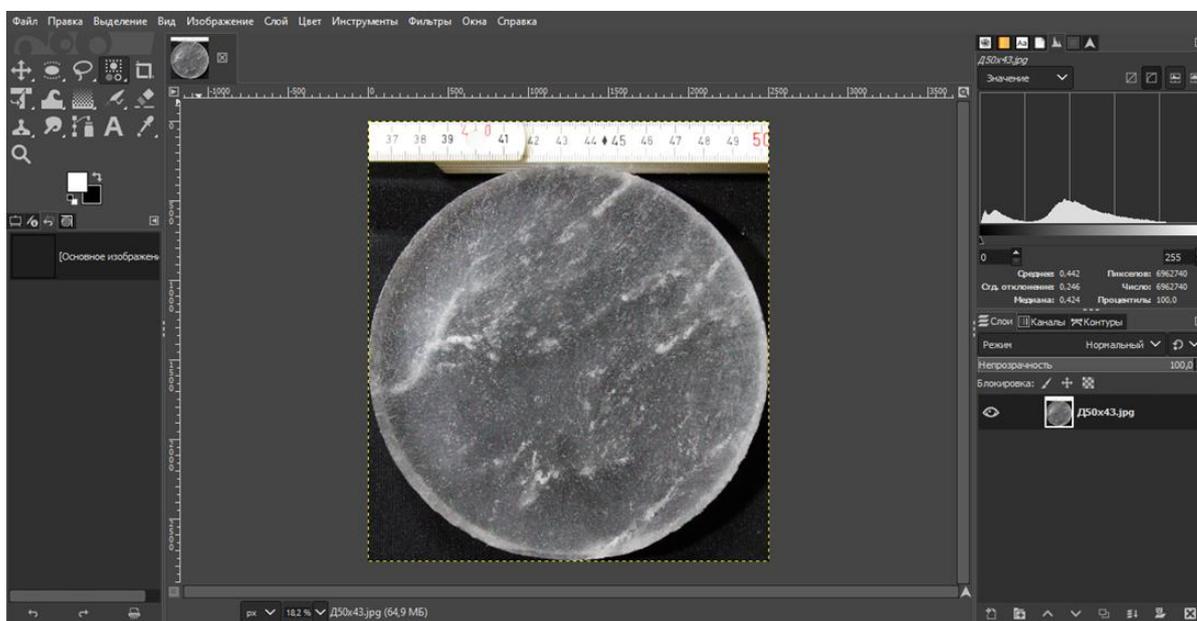


Рис.15 Загрузка изображения на рабочее поле

На рисунке 15 представлен пример загруженного и готового к обработке исходного изображения ледовой пластины.

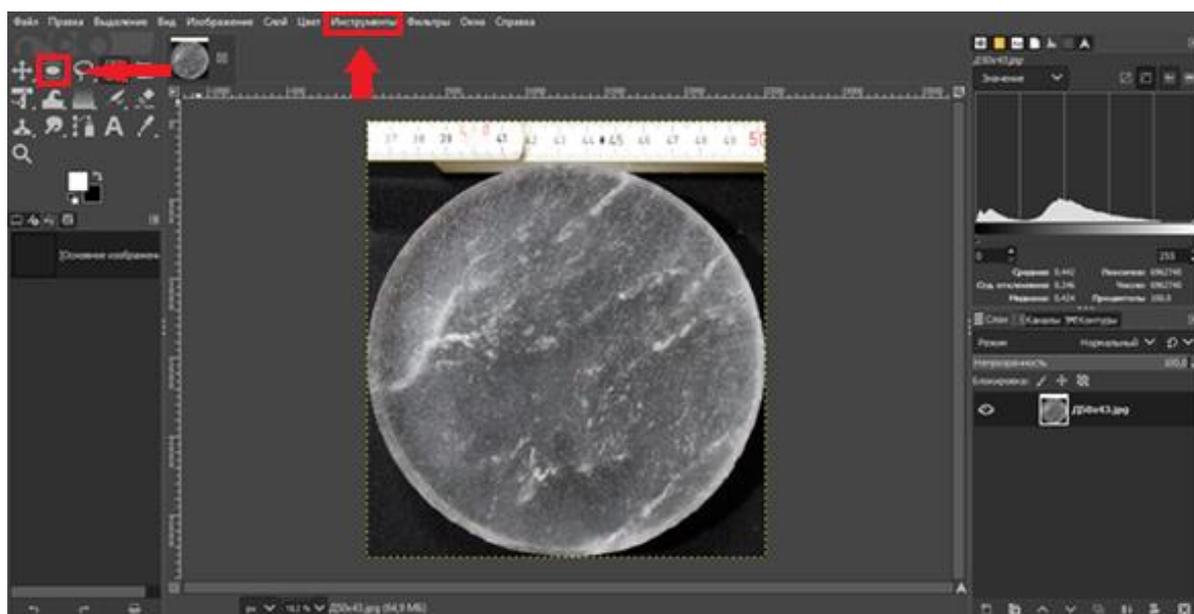


Рис.16 Выделение области пластины

Выделение пластины можно осуществить как через ключ-слово <инструменты> с последующим наведением курсора мыши на первую строчку <выделение>, так и через панель инструментов выбрав соответствующему действию графическое изображение (значок) в данной программе — это закрашенный эллипс с заштрихованной каймой. Данные варианты указаны стрелками на рис.16

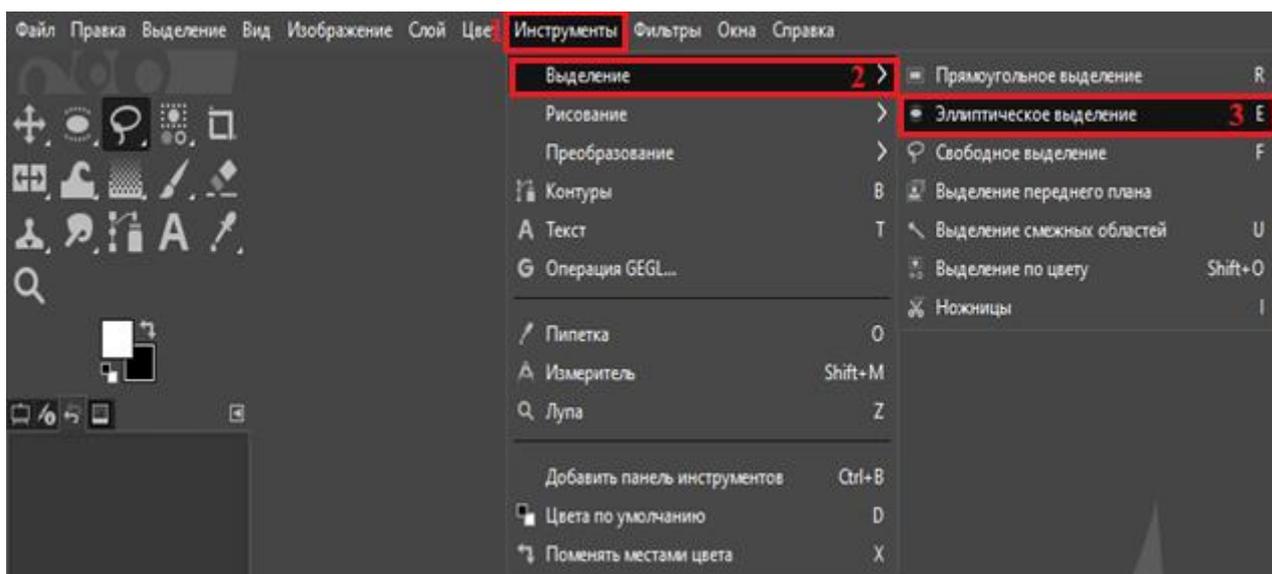


Рис.17 Выбор выделения изображения

В обоих случаях при наведении курсора мышки и нажатии левой клавишей предоставляются варианты выделения изображения, например прямоугольником, эллипсом и т.д., или можно выбрать свободное выделение и вручную выделить интересующую область. В данной работе наш интерес представляет эллиптическое выделение, так как позволяет выделять за раз всю окружность пластины.

Следующим действием после эллиптического выделения окружности пластины льда на обрабатываемом изображении является удаление невыделенного фона, данная процедура проводится для облегчения последующей обработки фотографии и повышает точность, поскольку пиксели, занимаемые фоновыми объектами изображения, такими как сантиметровая линейка, сукно, пылинки и т.п., могут иметь один и тот же

цветовой градиент, что и пиксели, которые соответствуют вторичным включениям в пластине льда.

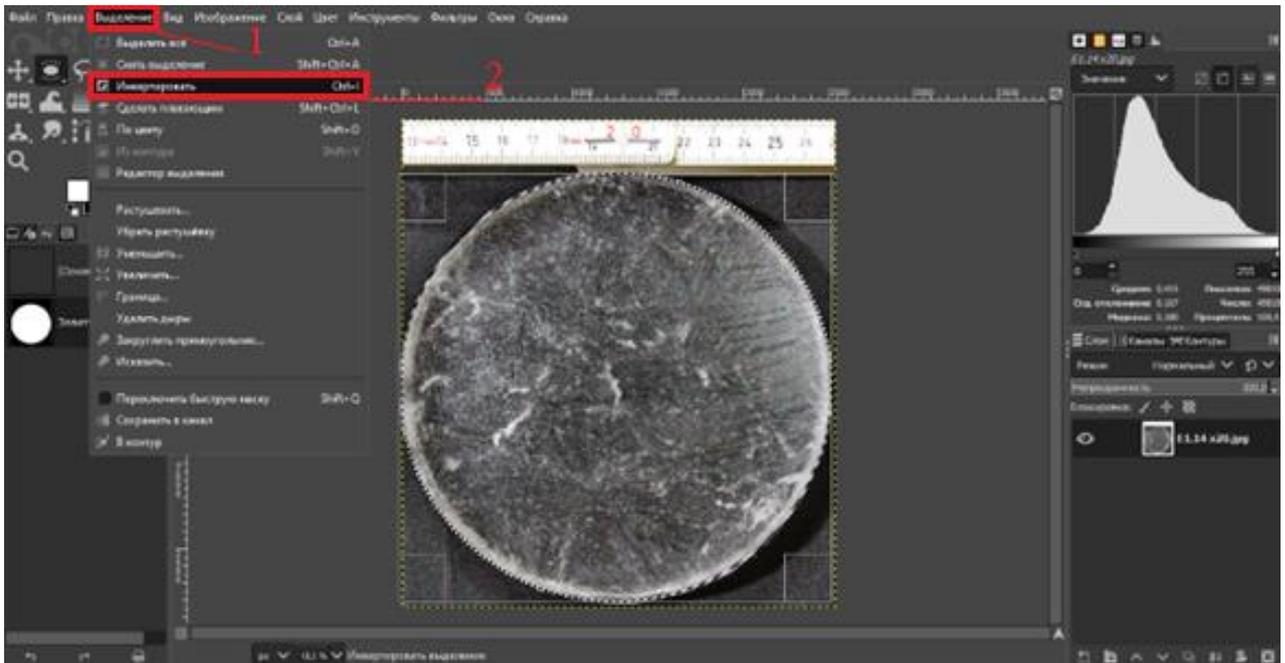


Рис. 18 Инвертирование изображения

Процедура удаления фона выделенного эллиптического изображения пластины льда происходит через его инвертирование (рис. 18).



Рис. 19 Изображение после удаления фона

Под цифрами 1 и 2 указан порядок проведения процедуры для осуществления данного действия, а именно, сначала курсор мыши перемещается на верхнюю часть окна программы, затем наводится на слово <выделение> в сплывающем списке выбирается действие <инвертировать>

Изображение области пластины льда после выделения эллипсом и инвертирования с последующим удалением фона (сукна, окружающего пластину льда и линейки, которая находится в верхней части фотографии) представлено на рисунке 19

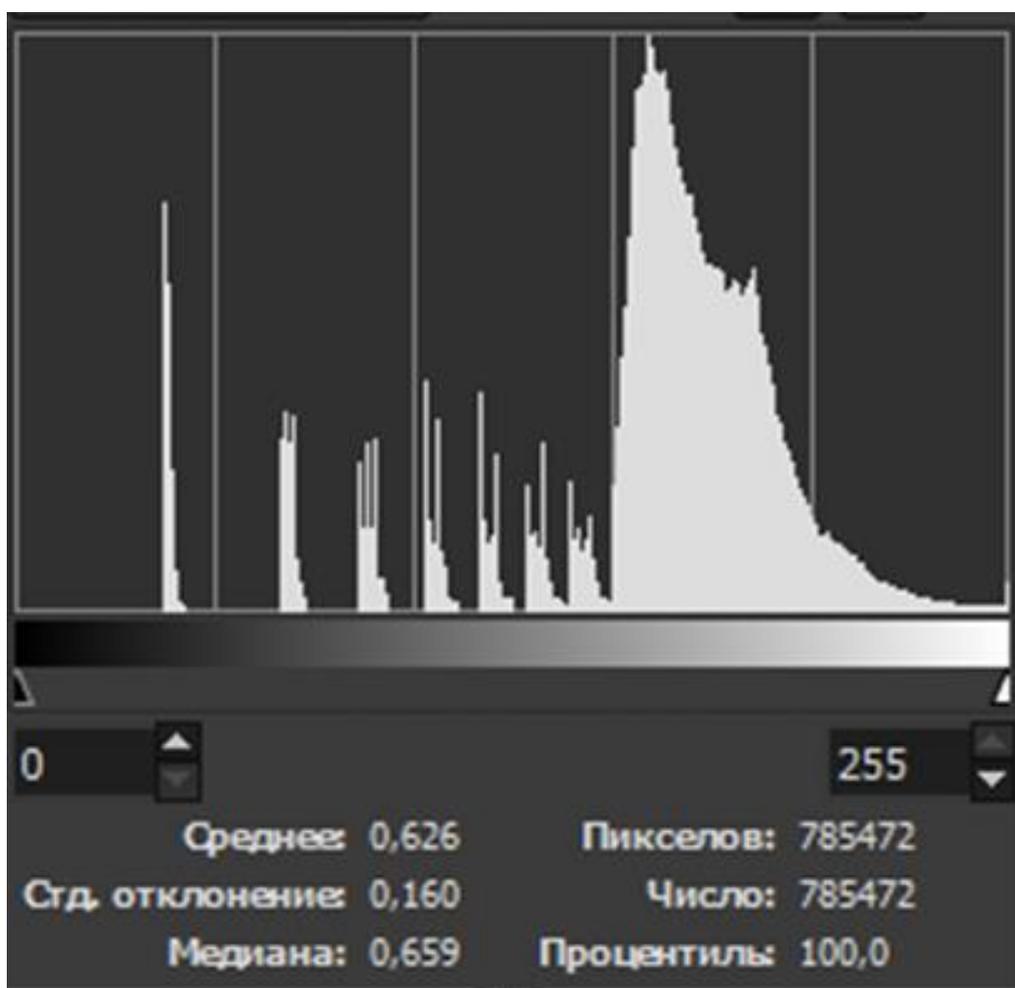


Рис. 20 Изображение гистограммы

Раскрытие гистограммы, показанное на рисунке 20, отображает количество пикселей, составляющих изображение, благодаря этим данным показывающим сколько пикселей занимаемого изображения принадлежит срезу пластины льда, мы можем рассчитать сколько в процентном отношении

от общего, захватываемого этой пластиной области, соответствует вторичным включения, а также каналцам. Именно данные с гистограммы заносятся в таблицу, где идет пересчет с пикселей в проценты и сантиметры квадратные реальной площади.

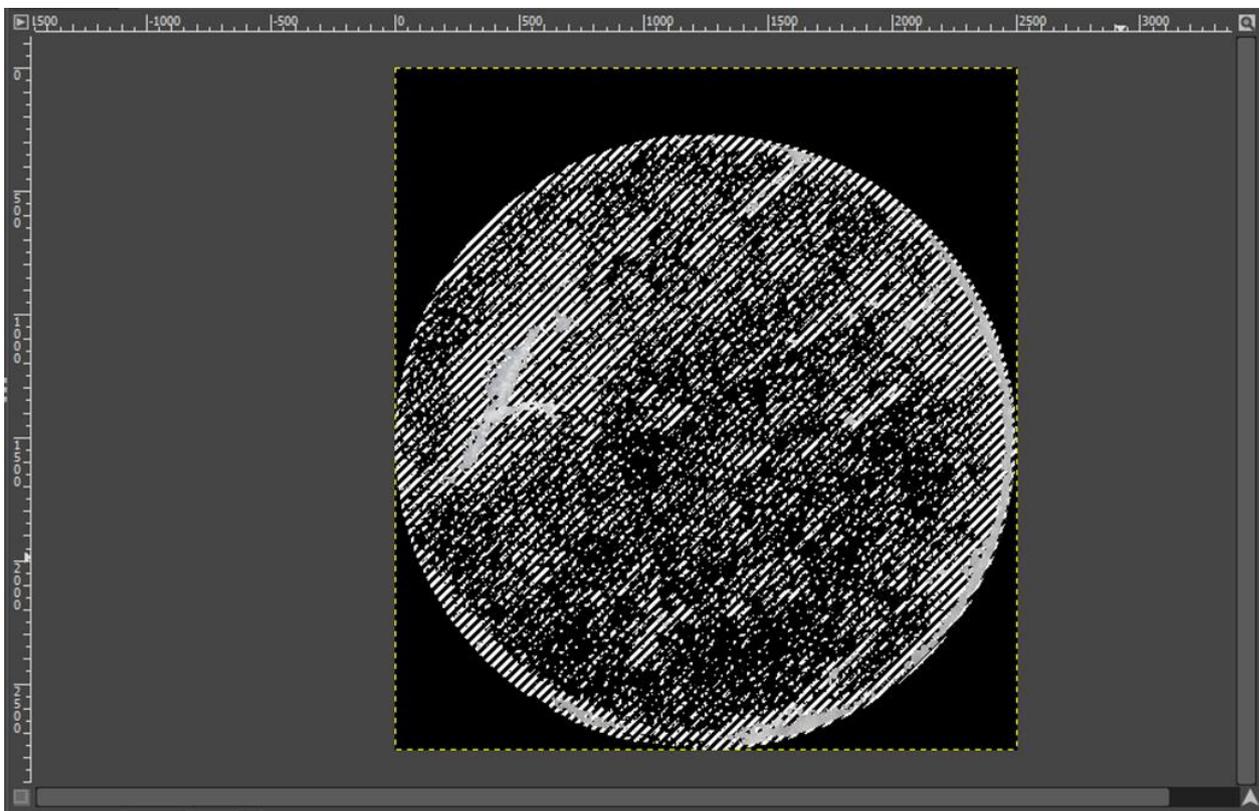


Рис. 21 Выделение вторичных включений

выделение по цвету вторичных включений и инвертирование для удаления лишних оттенков цвета (пикселей, которые не соответствуют по своей цветовой индикации, цветам пикселей принадлежащим каналцам) рисунок 21, цвета выбираются по каналцам во избежание выбора светлых оттенков, не соответствующих вторичным включениям.

Порядок выделения пикселей, соответствующих вторичным включениям следующий: в верхней части окна приложения, в строчке общего меню находим <Выделение> и наводим на него курсор, нажимаем левой клавишей мыши, в сплывающем списке возможных действий выбираем <По

цвету> также нажав левой кнопкой мышки, данные действия показаны на рисунке 22.

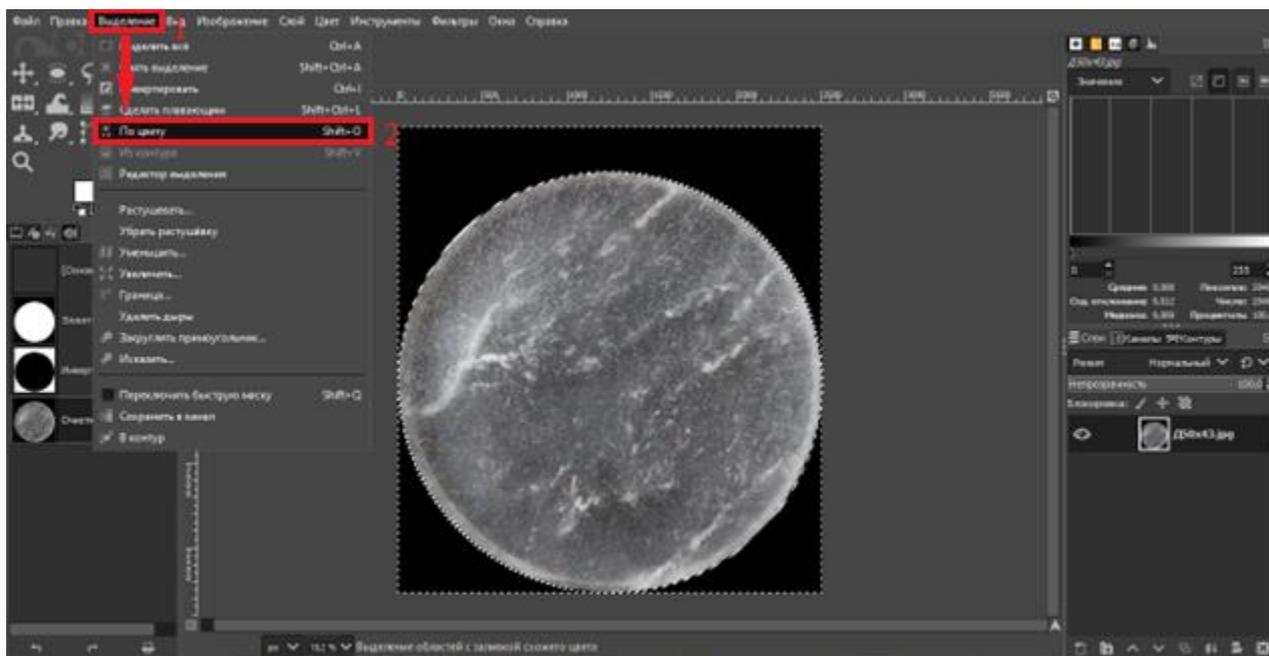


Рис. 22 Выделение вторичных включений

Была выбрана операция по выделению областей с заливкой общего цвета, то есть при выборе пикселя, который расположен относительно разрешения снимка на вторичном включении (ориентировка на более яркие пиксели, которые соответствуют пустотам вторичных включений) выделяются также все пиксели имеющие точно такой или похожий цветовой градиент (рис.23).



Рис.23 Процесс выделение пикселей

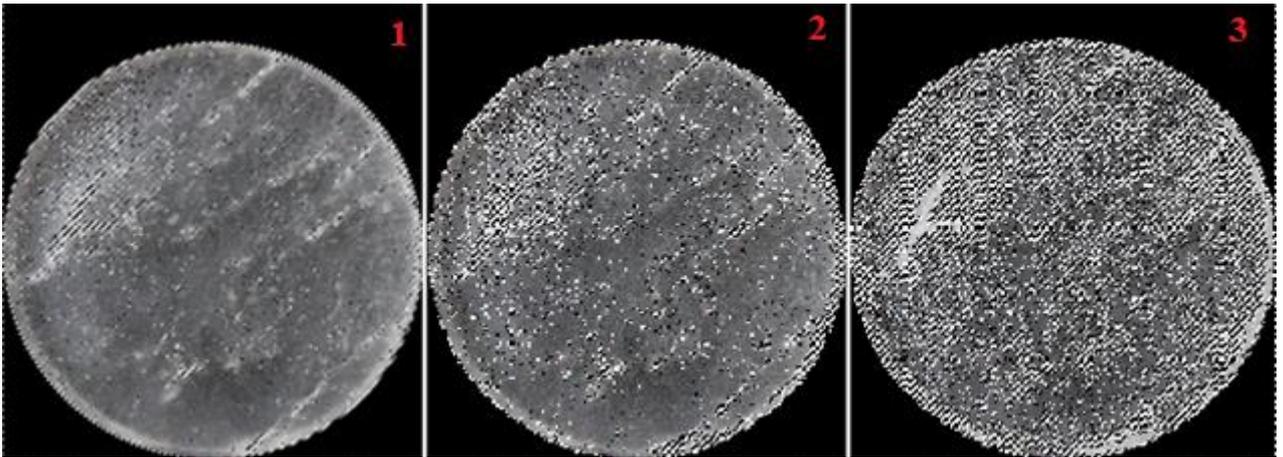


Рис.24 Процесс добавления пикселей одного цветового градиента

На рисунке 24 показано как увеличивается количество пикселей относительно общей площади пластины льда с выделением пикселей, относящихся к одному и тому же цветовому градиенту, остальные пиксели будут удалены.

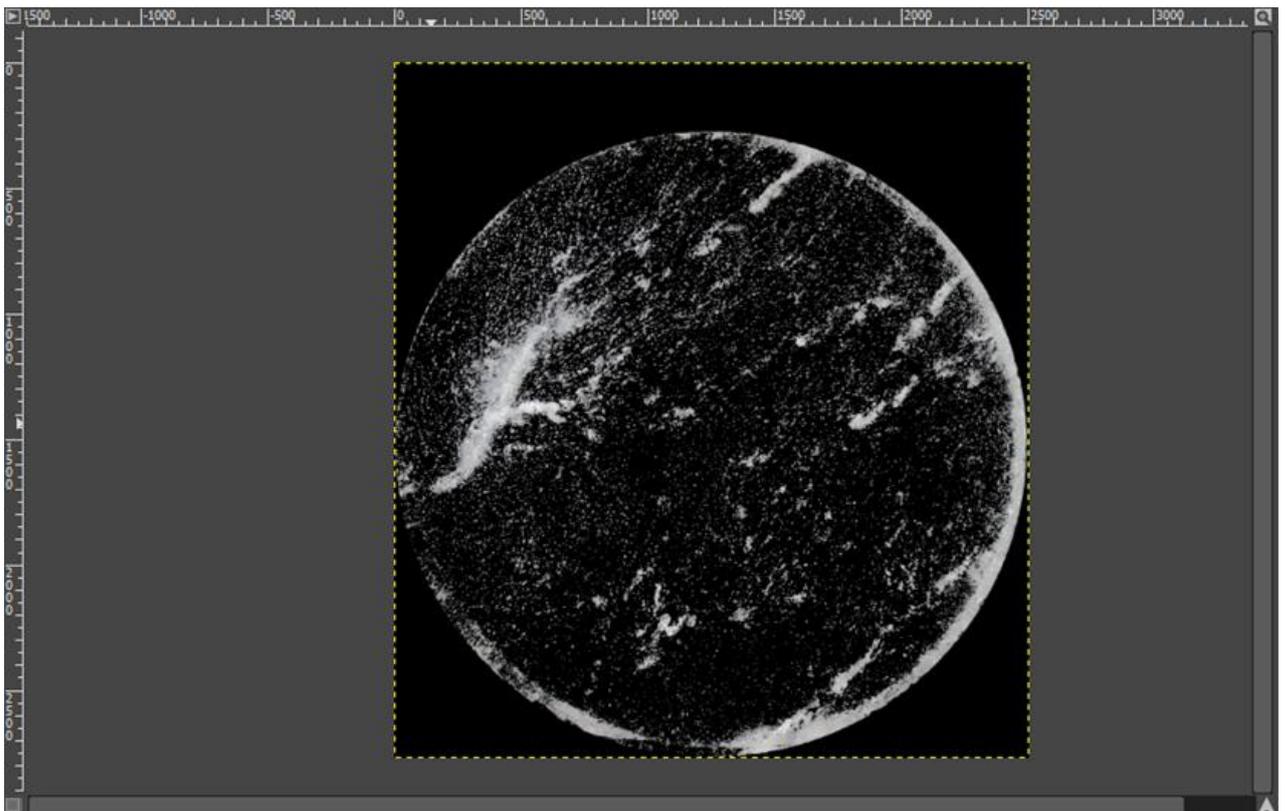


Рис.25 Изображение среза керна после обработки

На рисунке 25 представлено изображение ледовой пластины, на котором после обрабатывания остались только те пиксели, которые соответствуют

вторичным включения во льду. Именно данное количество пикселей, указанное на гистограмме, и будет занесено в таблицу для дальнейшего анализа

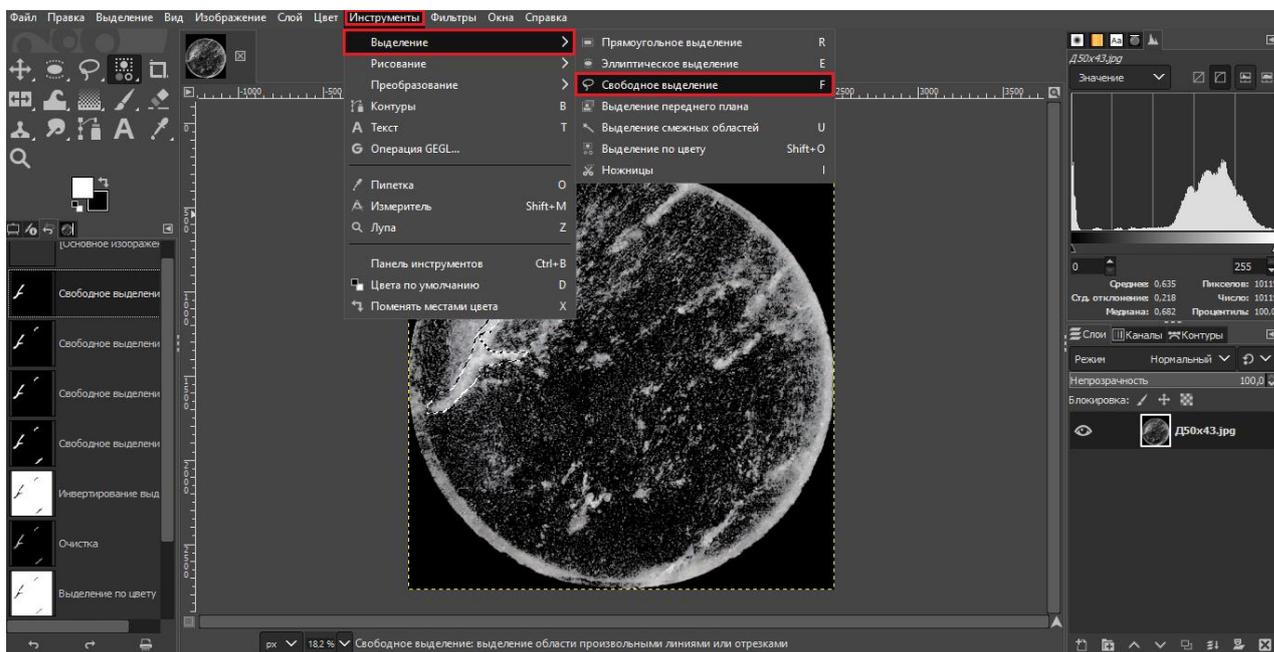


Рис.26 Порядок выделения канальцев

После выделения пикселей, соответствующих общему количеству вторичных включений и записи их в таблицу, следующим этапом вычисляется количество пикселей, которые принадлежат канальцам, образовавшимся в ходе протаивания льда концентрированным солевым рассолом.

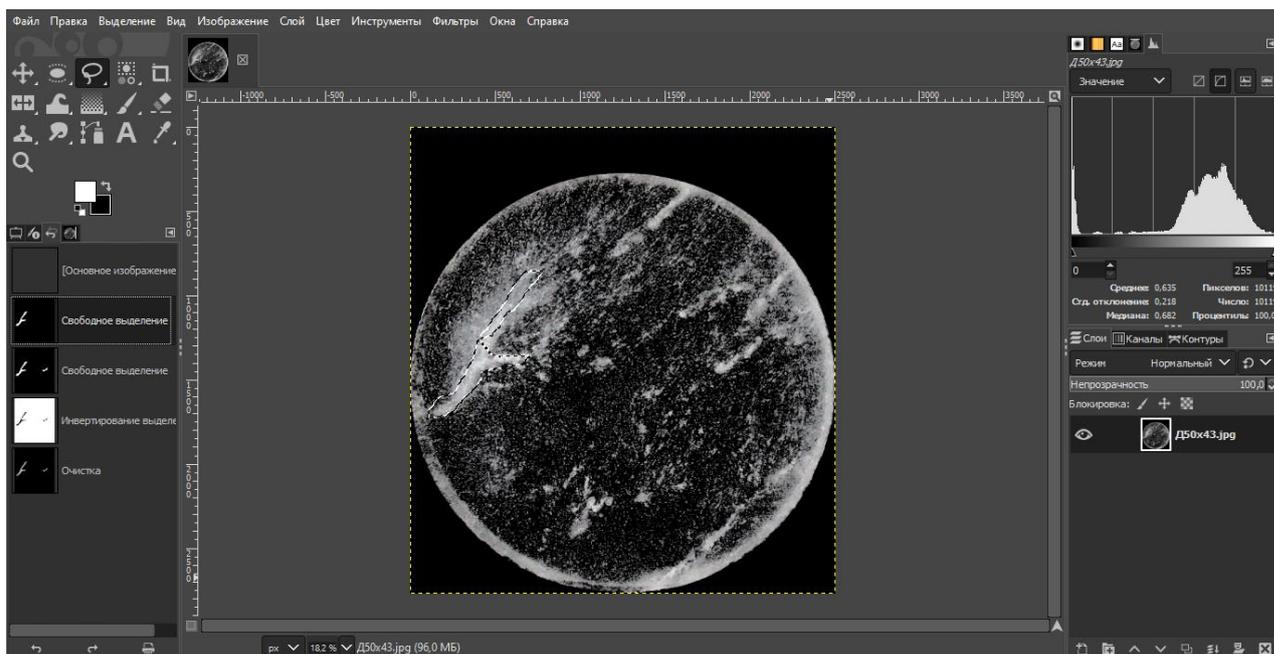


Рис. 27 Выделение областей канальцев

Данная процедура продемонстрированная на рисунке 26 и включает в себя следующие действия: в меню интерфейсов, в верхней части окна приложения выбирается пункт <Инструменты>, затем в всплывающем списке наводим курсор мыши на слово <Выделение> и после нажимаем левой кнопкой мыши на <Свободное выделение> (данный тип выделения избирается, так как позволяет вычислять площади канальцев, с последующим удалением лишних вторичных включений), приложение готово к работе. Процесс непосредственного выделения областей канальцев показан на рисунке 27.

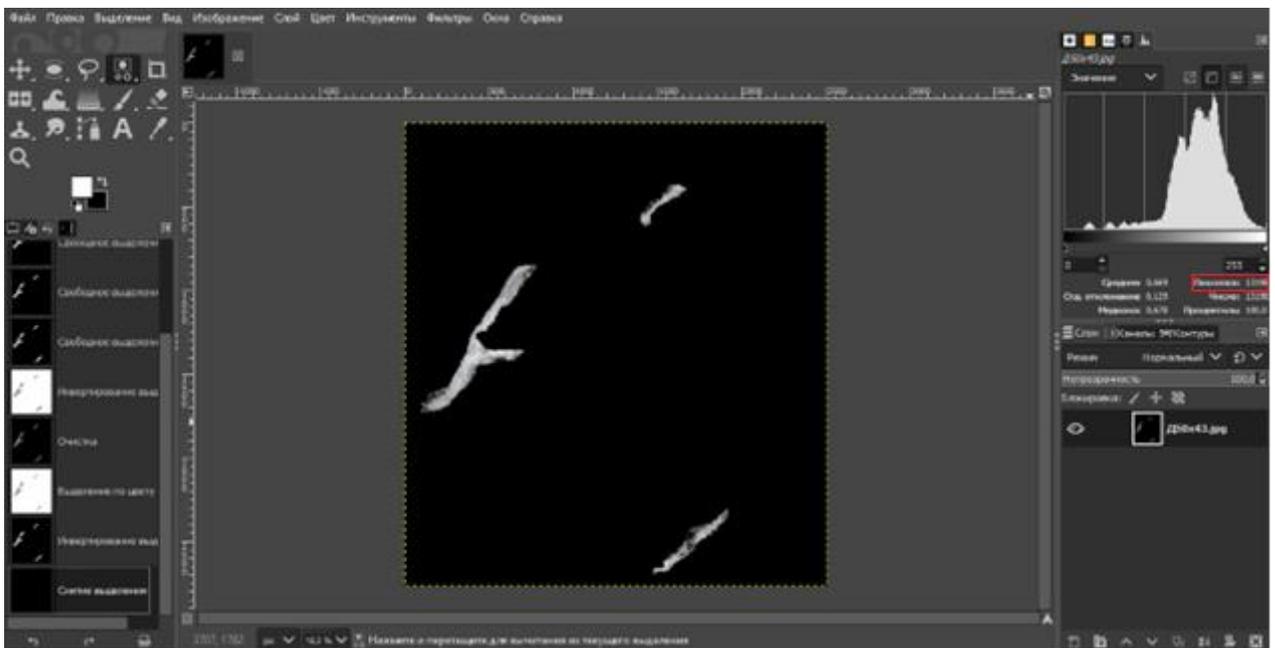


Рис 28. Вычисление площади канальцев

После удаления пикселей не принадлежащих площади канальцев, в таблицу (рис.29) заносятся данные из гистограммы в правой верхней части рабочего окна (рисунок 28), а именно количество пикселей, которые были выделены в процессе данной операции.

Все действия, перечисленные выше, также можно произвести через использование <горячих клавиш>, удобная функция, которые назначены всем выбранным действиям.

Ход обработки горячими клавишами:

1. Открытие изображения
2. E – выделение эллипсом
3. Ctrl+I – инвертировать для выделения области за пределами эллипса
4. Del – удаление этой области с заменой на черный фон
5. Shift+O – выделение по цвету вторичных включений (удерживая Shift и нажимая левой кнопкой мыши добавляется новое цветовое значение пикселя к уже имеющемуся и их количество складывается, указывая совместное занимаемое место от общего количества пикселей изображения пластины льда)
6. Ctrl+I – инвертирование для удаления лишних оттенков
7. Del – удаление лишних оттенков
8. E – выделение эллипсом область среза керна без обода
9. Ctrl+I – инвертировать для выделения области вне обода
10. Del – удаление ее вместе с ободом
11. Shift+O – выделение по цвету, в этот раз выбирается пиксели принадлежащие фону изображения вокруг ледовой пластины, а именно чёрного цвета
12. Ctrl+I – инвертировать для выделения набора цветов вторичных включений и считывания количества пикселей в них с последующей записью в таблицу

13. Shift+Ctrl+A – снятие выделений,
14. Shift+Ctrl+E – экспорт изображения вторичных включений
15. F – свободное выделение канальцев (в настройках надо поставить галочку на добавить в текущее выделение) зажимаем Shift, чтобы добавить выделение к уже имеющемуся
16. Ctrl+I – инвертировать для выделение областей не относящихся к канальцам
17. Del – удаление этих областей
18. Shift+O – выделение по цвету черного фона
19. Ctrl+I – инвертировать для выделения цветов канальцев и считывания информации о количестве пикселей
20. Shift+Ctrl+E – экспорт изображения канальцев вторичных включений

Окончательный процесс обработки изображений пластин ледового керна и перевода с них визуальной информации в табличный вид (представление площади, занимаемой вторичными включениями в общем и канальцами, в частности, от площади всей поверхности пластины льда в числовом формате) состоит в формировании электронной таблицы (рис.29) в эксель и переносе в нее данных с гистограммы (количество пикселей) обработанных изображений ледовых пластин.

| E11.1 X Срезы выборки 23.01.18 | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------|----------|---|-------------|-------------|-----------------------|----------------------|------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| горизонт | S общ. (пикс.) | S вкл. без обода (пикс.) | S кан. (пикс.) | S вкл. без обода % | S кан. % | R | S общ. (см) | S кан. (см) | S вкл. без обода (см) | S втр. вкл. без кан. | Разница S всех вкл. и S кан. |
| 0 | 5530029 | 1447080 | 0 | 26,17 | 0,00 | | | 0,00 | 40,26 | 40,26 | |
| 1 | 5411880 | 1310548 | 0 | 24,22 | 0,00 | | | 0,00 | 37,26 | 37,26 | |
| 3 | 5750996 | 947191 | 0 | 16,47 | 0,00 | | | 0,00 | 25,34 | 25,34 | |
| 5 | 5787211 | 1726246 | 0 | 29,83 | 0,00 | | | 0,00 | 45,89 | 45,89 | |
| 8 | 5134340 | 1926928 | 0 | 37,53 | 0,00 | | | 0,00 | 57,74 | 57,74 | |
| 10 | 6072048 | 2466862 | 0 | 40,63 | 0,00 | | | 0,00 | 62,51 | 62,51 | |
| 13 | 5787211 | 1183187 | 134831 | 20,44 | 2,33 | | | 3,58 | 31,46 | 27,87 | 8,78 |
| 15 | 4732863 | 250160 | 101305 | 5,29 | 2,14 | | | 3,29 | 8,13 | 4,84 | 2,47 |
| 18 | 5649416 | 1570502 | 203591 | 27,80 | 3,60 | | | 5,54 | 42,77 | 37,23 | 7,71 |
| 20 | 5714898 | 648951 | 143224 | 11,36 | 2,51 | | | 3,86 | 17,47 | 13,62 | 4,53 |
| 23 | 6265740 | 182558 | 120758 | 2,91 | 1,93 | | | 2,97 | 4,48 | 1,52 | 1,51 |
| 25 | 4695124 | 366093 | 115811 | 7,80 | 2,47 | | | 3,80 | 12,00 | 8,20 | 3,16 |
| 28 | 4687452 | 277598 | 99519 | 5,92 | 2,12 | | | 3,27 | 9,11 | 5,85 | 2,79 |
| 30 | 6120182 | 469612 | 128201 | 7,67 | 2,09 | | | 3,22 | 11,81 | 8,58 | 3,66 |
| 33 | 5104926 | 355151 | 90210 | 6,96 | 1,77 | | | 2,72 | 10,70 | 7,99 | 3,94 |
| 35 | 5298196 | 965716 | 224581 | 18,23 | 4,24 | | | 6,52 | 28,04 | 21,52 | 4,30 |
| 38 | 5203640 | 585394 | 145747 | 11,25 | 2,80 | | | 4,31 | 17,31 | 13,00 | 4,02 |
| 40 | 5315205 | 717884 | 162781 | 13,51 | 3,06 | | | 4,71 | 20,78 | 16,07 | 4,41 |
| 43 | 5415998 | 268233 | 200945 | 4,95 | 3,71 | | | 5,71 | 7,62 | 1,91 | 1,33 |
| 45 | 6128943 | 360137 | 93061 | 5,88 | 1,52 | | | 2,34 | 9,04 | 6,70 | 3,87 |
| 50 | 4537082 | 360788 | 99346 | 7,95 | 2,19 | | | 3,37 | 12,23 | 8,87 | 3,63 |
| 53 | 5704272 | 305511 | 92233 | 5,36 | 1,62 | | | 2,49 | 8,24 | 5,75 | 3,31 |
| 55 | 4578723 | 96214 | 28421 | 2,10 | 0,62 | | | 0,96 | 3,23 | 2,28 | 3,39 |
| 58 | 5142862 | 175195 | 85182 | 3,41 | 1,66 | 7 | 153,86 | 2,55 | 5,24 | 2,69 | 2,06 |
| 60 | 8101632 | 1073997 | 205564 | 13,26 | 2,54 | | | 3,90 | 20,40 | 16,49 | 5,22 |
| 63 | 5863831 | 518299 | 74886 | 8,84 | 1,28 | | | 1,96 | 13,60 | 11,63 | 6,92 |

Рис.29 Данные после обработки фотографий в табличном виде

После записи в таблицу данных, полученных входе обработки изображений пластин льда и перевода их текстурного рисунка в цифровые значения, с помощью формул пиксели, занимаемые вторичными включениями (в том числе и стоковыми каналцами), переводятся в проценты и сантиметры квадратные реальной площади срезов пластин ледовых кернов.

2.2 Обработка материалов пластин льда по текстур для различных генетических типов.

В процессе обработки были использованы изображения пластин льда различных генетических типов (по классификации Черепанова Н.В.). Всего

было обработано 12 кернов льда различного структурно-генетического строения, которые были взяты в различных точках и в разные промежутки времени. Из них 7 кернов были взяты на ровном припайном льду (Е), 3 керна у берега (Т) -лед у берега, и 2 керна у айсберга (Д) -лед у айсберга. Процентное соотношение пластин льда различных генетических типов, для каждого керна, представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Количественное соотношение количества пластин различного генетического типа строения льда от общего количества пластин по кернам.

| | тип льда керна | общее кол- во измерений | кол-во измерений по типам льда, | | | | | | |
|----|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|----|----|----|----|----|----|
| | | | В2 | В4 | В5 | В6 | В7 | В8 | В9 |
| 1 | Е1.11 | 45 | 15 | 17 | 7 | 3 | 3 | 0 | 0 |
| 2 | Е1.14 | 49 | 22 | 18 | 7 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 3 | Е1.15 | 53 | 22 | 18 | 7 | 3 | 3 | | |
| 4 | Е1.16 | 52 | 21 | 18 | 7 | 3 | 3 | | |
| 5 | Е1.19 | 57 | 25 | 19 | 7 | 3 | 3 | | |
| 6 | Е1.21 | 63 | 31 | 19 | 7 | 3 | 3 | | |
| 7 | Е1.22 | 55 | 24 | 19 | 7 | 3 | 2 | | |
| 8 | Т30.3 | 34 | | 3 | 25 | 5 | 1 | | |
| 9 | Т30.4 | 34 | | 15 | 10 | | 3 | 6 | |
| 10 | Т30.5 | 38 | | | 18 | 11 | | 6 | 3 |
| 11 | Д30 | 45 | | 13 | 4 | 16 | | 12 | |
| 12 | Д50 | 45 | | 31 | 4 | 9 | 1 | | |

Таблица 2. Процентное соотношение количества пластин различного генетического типа строения льда от общего количества пластин по кернам.

| тип льда керна | общее кол-во измерен ий | кол-во измерений по типам льда, % | | | | | | |
|-------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----|-----|-----|----|-----|----|
| | | B2 | B4 | B5 | B6 | B7 | B8 | B9 |
| E1.11 | 45 | 33% | 38% | 16% | 7% | 7% | 0% | 0% |
| E1.14 | 49 | 45% | 37% | 14% | 2% | 2% | 0% | 0% |
| E1.15 | 53 | 42% | 34% | 13% | 6% | 6% | 0% | 0% |
| E1.16 | 52 | 40% | 35% | 13% | 6% | 6% | 0% | 0% |
| E1.19 | 57 | 44% | 33% | 12% | 5% | 5% | 0% | 0% |
| E1.21 | 63 | 49% | 30% | 11% | 5% | 5% | 0% | 0% |
| E1.22 | 55 | 44% | 35% | 13% | 5% | 4% | 0% | 0% |
| T30.3 | 34 | 0% | 9% | 74% | 15% | 3% | 0% | 0% |
| T30.4 | 34 | 0% | 44% | 29% | 0% | 9% | 18% | 0% |
| T30.5 | 38 | 0% | 0% | 47% | 29% | 0% | 16% | 8% |
| Д30 | 45 | 0% | 29% | 9% | 36% | 0% | 27% | 0% |
| Д50 | 45 | 0% | 69% | 9% | 20% | 2% | 0% | 0% |

Проанализировав таблицы 1 и 2 можно сказать, что количественно преобладающими генетическими типами льда в кернах, взятых на ровном припайном льду (E1.11 – E1.22) являются B2 и B4, совокупно которые занимают больше половины от всего объема керна льда, это свидетельствует о том, что ледообразование происходило в основном при незначительных нарушениях устойчивости ориентированного роста кристаллов в гомотермических условиях ледяного покрова, вызванных дрейфом льда, а также изменениями температуры и солёности на границе вода-лед[], небольшой процент от общего количества измерений приходится на типы льда B5, B6 и B7, что может говорить об изменении условий ледообразования. В кернах льда, взятых у берега и айсберга распределение по типам льда указывает как на изменение условий ледообразования во времени (T30.4 был выбурен 14.02.18 а керн T30.5 был 15.03.18 и количество), так и на пространственное расположение ледового покрова

Данные, полученные в ходе обработки изображений круглых пластин (рис.30) и перевода визуальных изображений в цифровой формат, заносятся в таблицы (рис.31). Для каждого керна составляется отдельная таблица по единому шаблону.

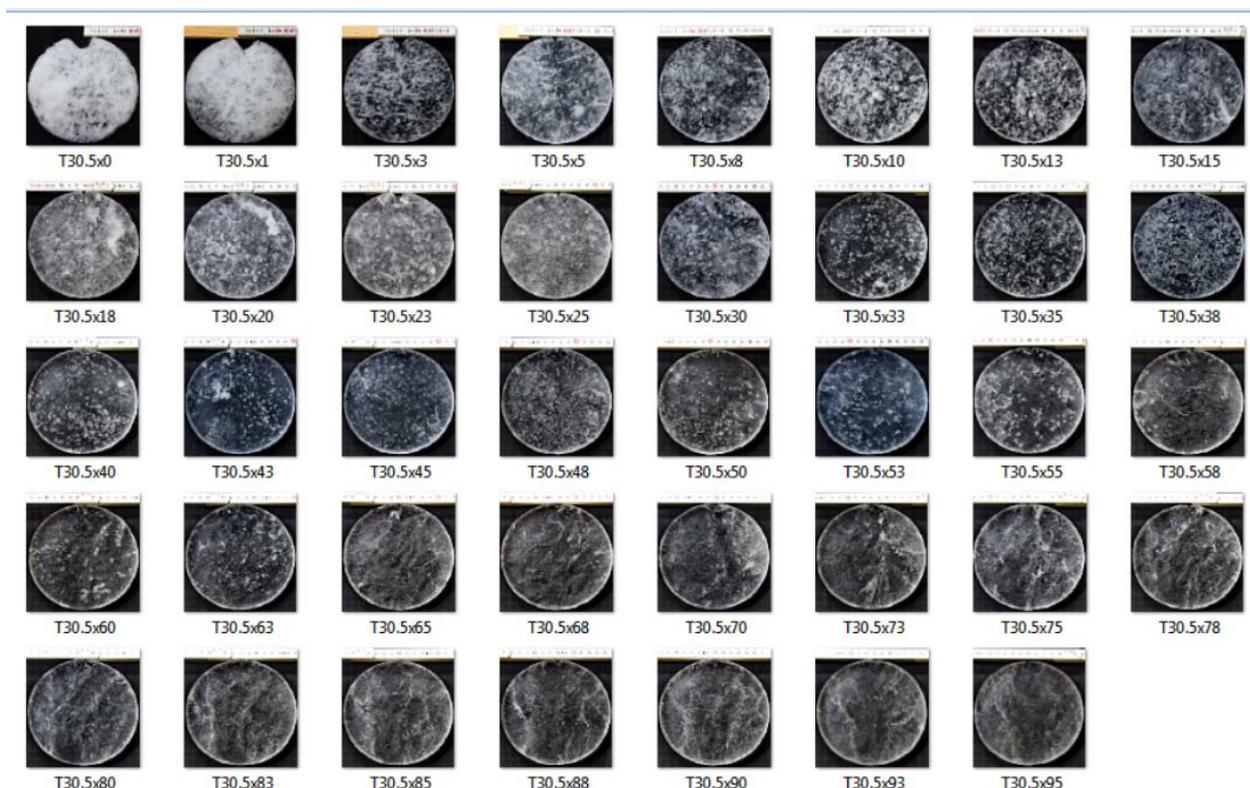


Рис. 30 Исходные данные полученные для обработки

фотографии круглых пластин льда распиленного керна льда диаметром по 14см и толщиной по 2см каждая, последовательно расположенные сверху вниз по толщине льда, каждой фотографии присваивается название, включающее номер керна и горизонт, с которого взят образец.

| Т30.5 X срезы выборки 15.03.18 | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------|------------------|----------|---|------------------------------|------------------------------|--|----------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| горизонт | S общ. (пикс.) | S вкл. без обода (пикс.) | S кам.(пикс) | S вкл. общ. % | S кам. % | R | S общ. (см ²) | S кам. (см ²) | S вкл. без обода (см ²) | S втр. вкл. без кам. | Разница S всех вкл. и S кам. |
| 0 | 4014953 | 2115610 | | 52,69 | 0,00 | | | 0,00 | 81,07 | 81,07 | |
| 1 | 6180863 | 3985564 | | 64,48 | 0,00 | | | 0,00 | 99,21 | 99,21 | |
| 3 | 5941704 | 3820610 | | 64,30 | 0,00 | | | 0,00 | 98,93 | 98,93 | |
| 5 | 4240035 | 2430547 | | 57,32 | 0,00 | | | 0,00 | 88,20 | 88,20 | |
| 8 | 5227895 | 1414873 | | 27,06 | 0,00 | | | 0,00 | 41,64 | 41,64 | |
| 10 | 4302357 | 1673397 | | 38,89 | 0,00 | | | 0,00 | 59,84 | 59,84 | |
| 13 | 5615814 | 1852063 | | 32,98 | 0,00 | | | 0,00 | 50,74 | 50,74 | |
| 15 | 3037190 | 1641514 | | 32,59 | 0,00 | | | 0,00 | 50,14 | 50,14 | |
| 18 | 5025270 | 1257649 | 544290 | 25,03 | 10,83 | | | 16,66 | 38,51 | 21,84 | 2,31 |
| 20 | 4546488 | 1620235 | 368473 | 35,64 | 8,10 | | | 12,47 | 54,83 | 42,36 | 4,40 |
| 23 | 5290903 | 1013581 | 155855 | 19,16 | 2,95 | | | 4,53 | 29,48 | 24,94 | 6,50 |
| 25 | 5645243 | 1032775 | 152206 | 18,29 | 2,70 | | | 4,15 | 28,15 | 24,00 | 6,79 |
| 30 | 5757345 | 2151168 | | 37,36 | 0,00 | | | 0,00 | 57,49 | 57,49 | |
| 33 | 5391136 | 909085 | 202823 | 16,86 | 3,76 | | | 5,79 | 25,94 | 20,16 | 4,48 |
| 35 | 5638937 | 1852461 | 301042 | 32,85 | 5,34 | | | 8,21 | 50,54 | 42,33 | 6,15 |
| 38 | 4591957 | 1439917 | | 31,36 | 0,00 | | | 0,00 | 48,25 | 48,25 | |
| 40 | 5135096 | 1234917 | 509012 | 24,05 | 9,91 | | | 15,25 | 37,00 | 21,75 | 2,43 |
| 43 | 5203637 | 888110 | 381566 | 17,07 | 7,33 | | | 11,28 | 26,26 | 14,98 | 2,33 |
| 45 | 4896935 | 1064777 | 184471 | 21,74 | 3,77 | | | 5,80 | 33,45 | 27,66 | 5,77 |
| 48 | 5611615 | 1531162 | 242477 | 27,29 | 4,32 | 7 | 153,86 | 6,65 | 41,98 | 35,33 | 6,31 |
| 50 | 5496714 | 1413024 | 317441 | 25,71 | 5,78 | | | 8,89 | 39,55 | 30,67 | 4,45 |
| 53 | 5262423 | 3039649 | 123642 | 57,76 | 2,35 | | | 3,61 | 88,87 | 85,26 | 24,58 |
| 55 | 5905015 | 1394888 | 321619 | 23,62 | 5,45 | | | 8,38 | 36,34 | 27,96 | 4,34 |
| 58 | 4516262 | 873223 | 132028 | 19,34 | 2,92 | | | 4,50 | 29,75 | 25,25 | 6,61 |

Рис.31 Данные помещенные в таблицу после перевода информации с изображений пластин льда в цифровую

Пример таблицы со значениями данных перевода визуальной информации текстуры льда круглой пластины в цифровую(рис.31). В шапке каждой таблицы указывается номер керна, указывающий на каком льду были выбурены керны, а также дату бурения. В первом столбе указывается горизонт, на котором был произведен распил керна на пластину льда (соответствующий верхней поверхности диска), во второй, в третий и четвертый столбцы заносятся данные которые получаем в ходе перевода фото изображений пластин льда в цифровой формат, а именно в таблицу заносятся данные количества пикселей, которые соответствуют всей пластине льда (столбец по номером 2), общего количества вторичных включений (столбец под номером 3), а также количество пикселей принадлежащих каналцам (столбец под

номером 4), далее в самой таблице идет пересчет пикселей на проценты (столбцы под номерами 5,6) и сантиметры квадратные (столбцы под номерами 9,10) реальной площади пластины льда, формулы пересчета из пикселей в проценты следующие:

Формула пересчета площади общего количества вторичных включений из пикселей в проценты:

$$\text{Свтор. \%} = \text{Свтор. (пикс.)} * 100\% / \text{Собщ. (пикс.)} \quad (1)$$

где Свтор. % - площадь вторичных включений в процентах

Свтор. (пикс.) - площадь вторичных включений в пикселях

Собщ. (пикс.) – площадь пластины льда в пикселях

Формула пересчета площади стоковых канальцев из пикселей в проценты:

$$\text{Скан. \%} = \text{Скан. (пикс.)} * 100\% / \text{Собщ. (пикс.)} \quad (2)$$

где Скан. % - площадь канальцев в процентах

Скан. (пикс.) - площадь канальцев в пикселях

Собщ. (пикс.) – площадь пластины льда в пикселях

После обработки всех изображений дисков льда различного генетического типа и с заполнением таблиц для всех 12 кернов, был произведен первичный анализ данного массива данных на основании составленных таблиц (рис.31).

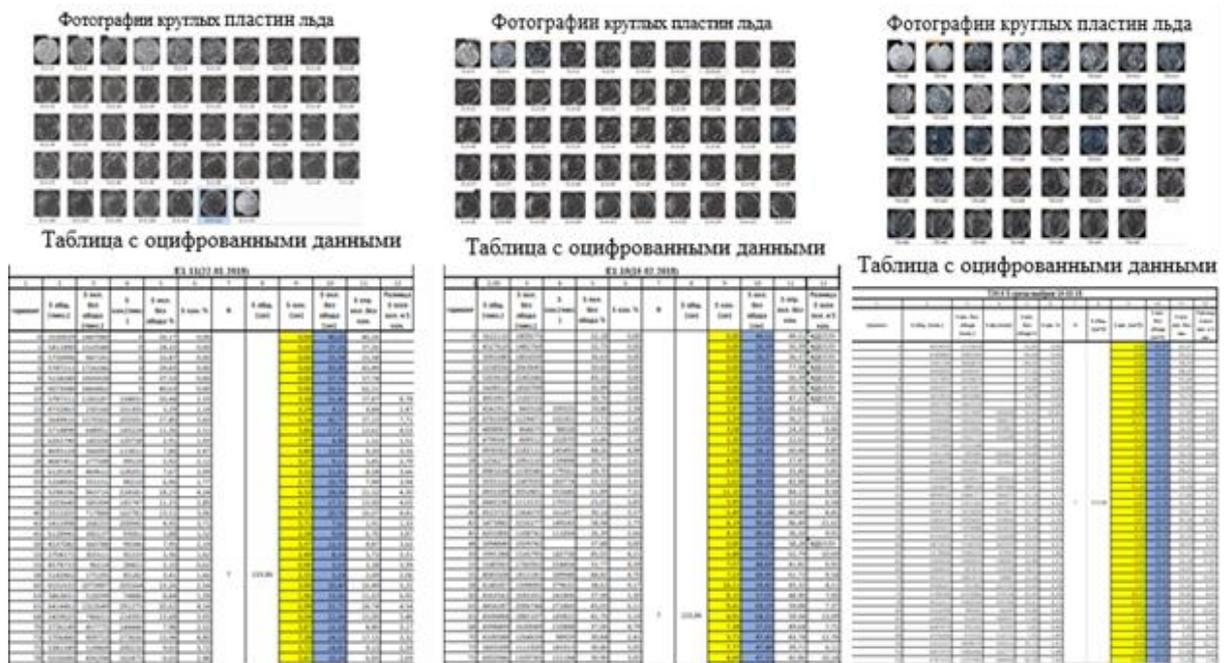


Рис.32 Пример одновременного учета визуального изображения текстуры льда в круглых пластинах (фотоснимки пластин) и количества вторичных включений (цифровые значения)

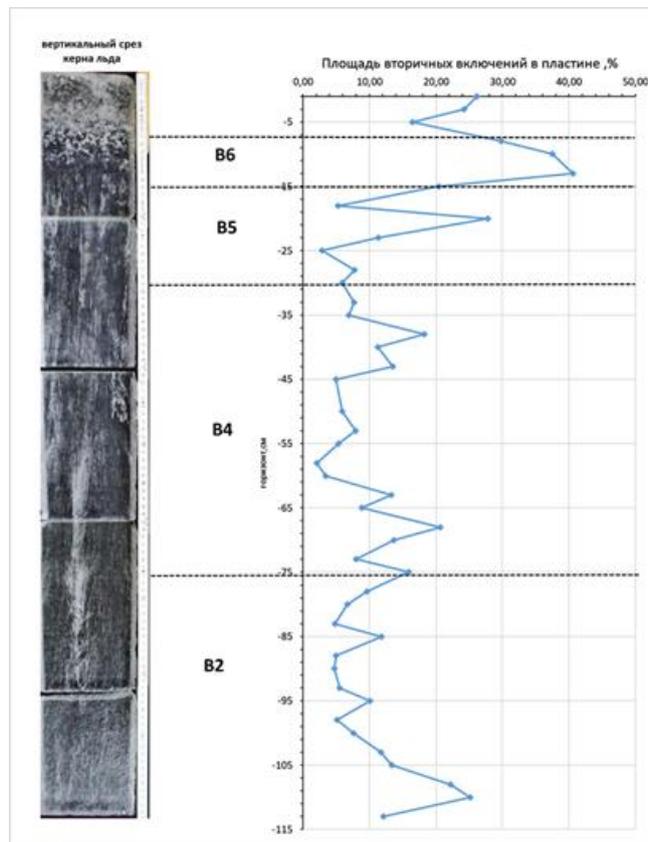


Рис.33 Пример изменчивости количества вторичных включений по толщине керн в зависимости от генетических типов льда

На основе полученной цифровой информации с обработанных кернов различного строения о распределении общего количества вторичных включений по толщине льда был построен график (рис.33) на данном рисунке видно, что изменение распределения площади вторичных включений присутствует не только между разными генетическими типами но и внутри одного генетического типа прослеживается изменчивость в этом распределении, что в свою очередь может указывать на влияние площади канальцев на изменчивость распределения вторичных включений в одном генетическом типе льда и их прочностные свойства.

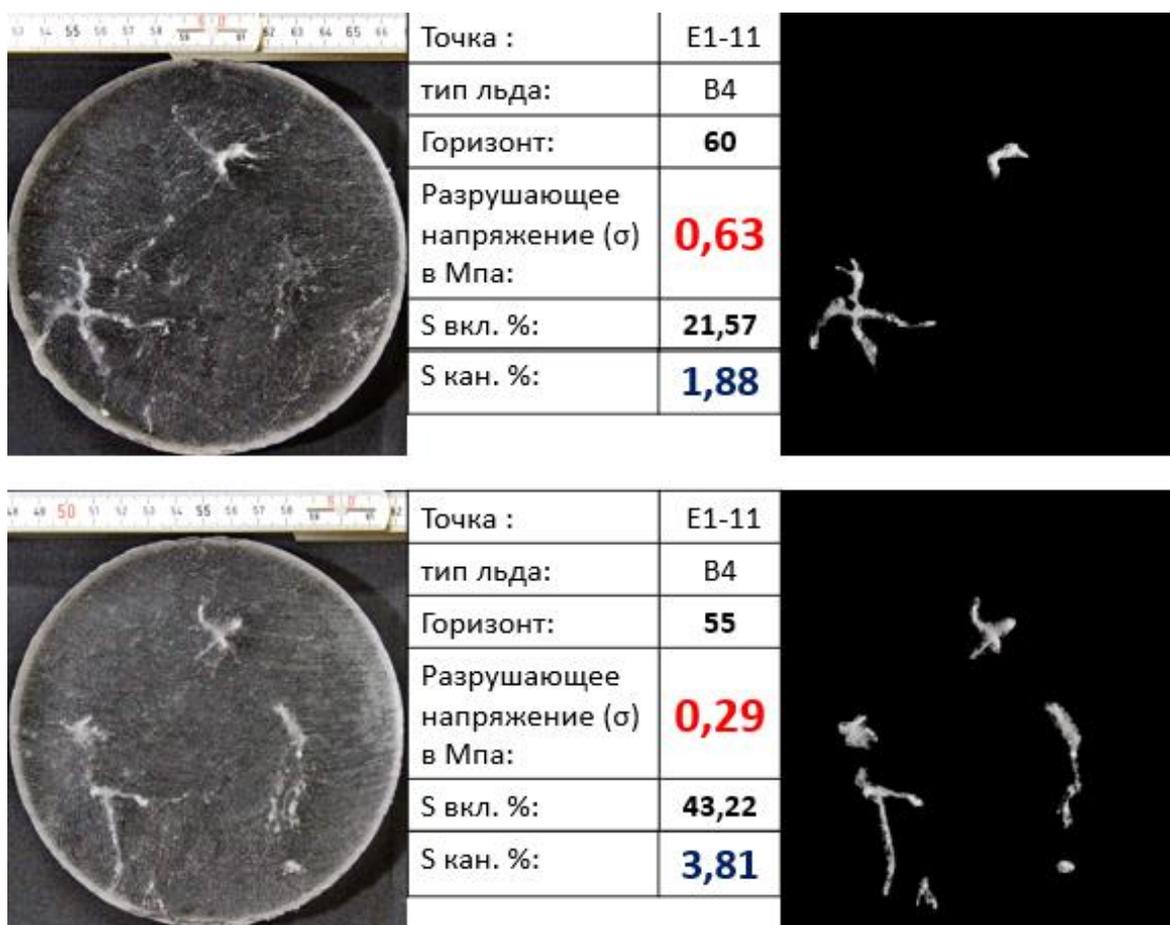


Рис.34 сравнение прочности двух пластин льда одного генетического типа

Предел прочности круглых пластин на изгиб различается у льдов различного генетического типа. Увеличение вторичных включений в виде стоковых канальцев, каналов и русел у льда одного генетического типа ведет к уменьшению предела прочности круглых пластин на изгиб (рис.34).

Таблица 3. Средняя прочность льда в кернах по структурно-генетическим типам.

| кern\тип льда | B2 | B4 | B5 | B6 | B7 |
|---------------|------|------|------|------|------|
| E1.11 | 0,31 | 0,41 | 0,50 | 0,52 | 0,41 |
| E1.22 | 0,67 | 0,75 | 0,93 | 0,99 | 1,16 |
| T30.4 | 0,30 | 0,37 | 0,68 | 0,69 | 0,71 |

Анализ таблицы 3 показал что чем сложнее лёд по строению (B6, B7), тем больше прочность пластин поскольку расположение (пространственное ориентирование) кристаллов льда в них хаотично и поэтому имеет более тесную связь по сравнению с типами льда где ориентация C-осей кристаллов проявляется с заметной тенденцией к пространственной организации (B2) то есть имеет вертикальное расположение. на основе табличных данных средней прочности льда в кернах по структурно-генетическим типам был построен график зависимости сред. прочности льда от его типа (рис.34)

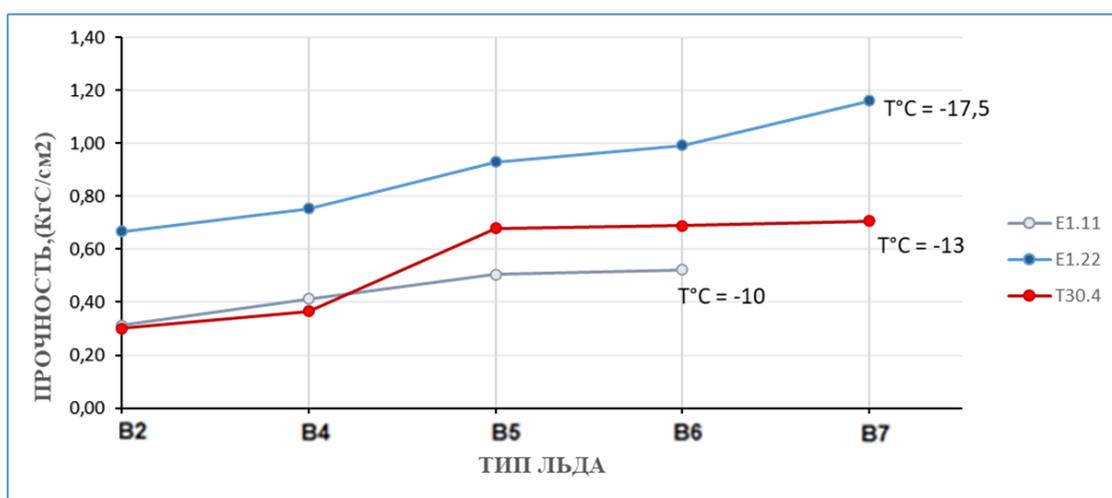


Рис.34 график зависимости сред. прочности льда от его типа

Предварительный анализ рис. показал, что предел прочности круглых пластин на изгиб для конжеляционных льдов (типа в2-в7) различается от строения и температуры льда. Чем холоднее лёд, тем прочность пластин больше.

Также на основе данных, полученных в ходе обработки изображений пластин льда в цифровой формат, были построены и проанализированы следующие таблицы:

Таблица 4. сглаженные значения прочности по горизонтам

| Таблица сглаженных значений прочности *100 и общей площади втор. вкл. по 3 и 5 | | | | | | |
|---|---------------|----------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Н | Мпа(Р) | Мпа*100 | Мпа*100 (сгл/3) | Мпа*100 (сгл/5) | Собщ% (сгл/3) | Собщ% (сгл/5) |
| 0 | | | | | | |
| -1 | 0,27 | 27 | | | 43 | |
| -3 | 0,27 | 27 | 30 | | 41 | 41 |
| -5 | 0,36 | 36 | 48 | 46 | 36 | 37 |
| -8 | 0,81 | 81 | 58 | 49 | 35 | 39 |
| -10 | 0,57 | 57 | 60 | 59 | 39 | 40 |
| -13 | 0,42 | 42 | 59 | 64 | 42 | 38 |
| -15 | 0,78 | 78 | 61 | 58 | 44 | 37 |
| -18 | 0,63 | 63 | 64 | 58 | 32 | 38 |
| -20 | 0,51 | 51 | 58 | 65 | 32 | 32 |
| -23 | 0,59 | 59 | 62 | 64 | 29 | 30 |
| -25 | 0,75 | 75 | 69 | 61 | 31 | 28 |
| -28 | 0,74 | 74 | 66 | 61 | 27 | 32 |
| -30 | 0,48 | 48 | 57 | 55 | 31 | 31 |
| -33 | 0,50 | 50 | 42 | 49 | 34 | 33 |
| -35 | 0,27 | 27 | 42 | 48 | 36 | 34 |
| -38 | 0,48 | 48 | 47 | 52 | 35 | 36 |
| -40 | 0,66 | 66 | 61 | 55 | 35 | 34 |
| -43 | 0,68 | 68 | 67 | 60 | 33 | 34 |
| -45 | 0,65 | 65 | 62 | 58 | 34 | 34 |
| -48 | 0,53 | 53 | 51 | 55 | 33 | 35 |
| -50 | 0,35 | 35 | 48 | 53 | 36 | 33 |

На таблице представлены значения прочности круглых пластин льда по горизонтам и их сглаживание по трем и пяти значениям, также представлены значения в процентах общей площади занятых вторичными включениями в пластинах льда по горизонтам.

На основе данных таблицы 3 были построены график распределения значений прочности круглых пластин льда по горизонтам и график распределения площади, занимаемой вторичными включениями по толщине льда рис.35

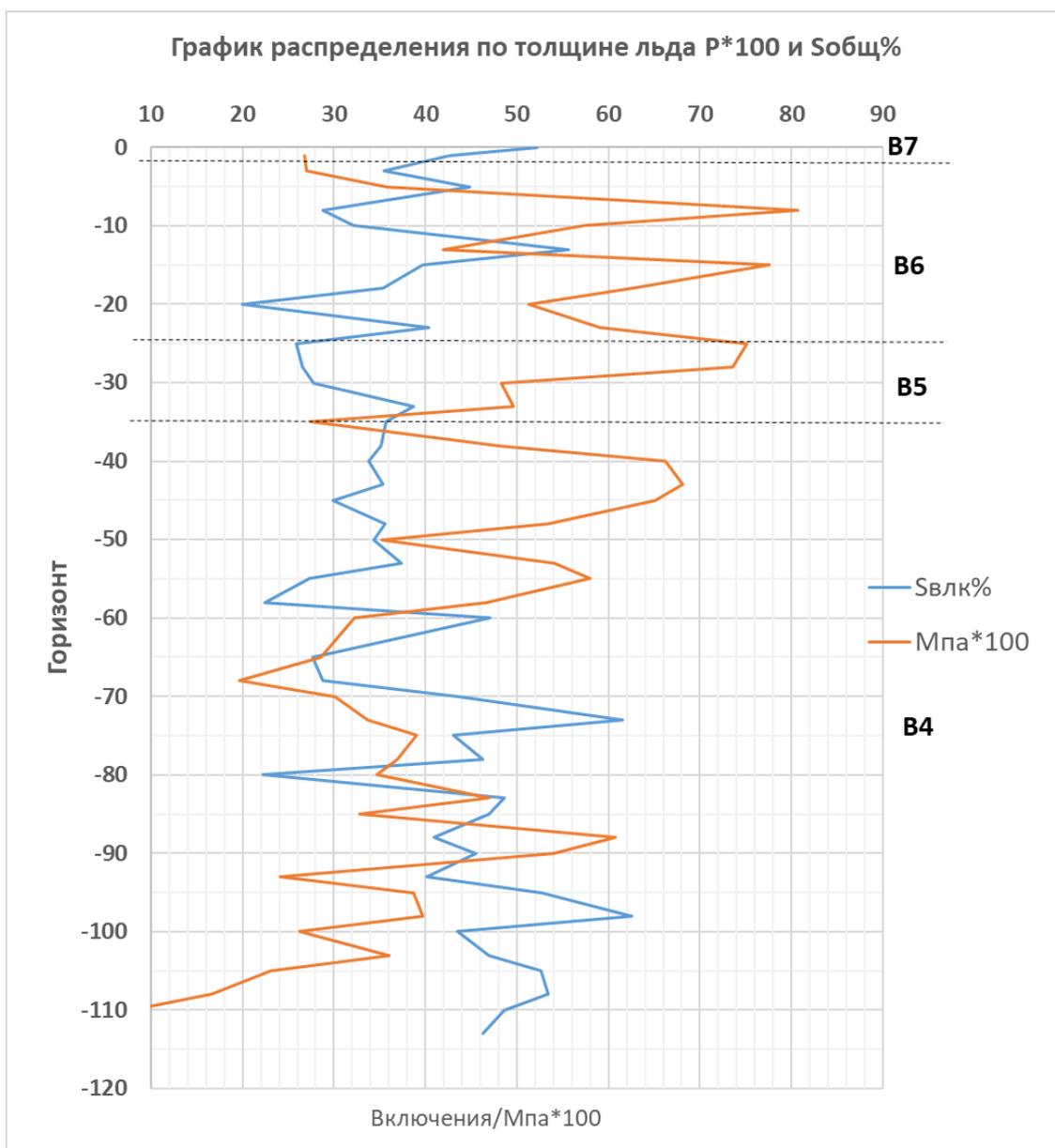


Рис.35 график распределения по толщине льда прочности и $S_{общ}\%$

На рис.35 видно, что распределение прочности и площади включений имеют выраженные противофазы в некоторых точках, количество этих точек распределено по всему горизонту ледового керна.

2.3 Выводы по главе

В данной главе была получена рабочая модель преобразования видимого изображения текстуры круглых пластин льда в цифровой режим, с фиксацией процентного соотношения различных элементов текстурного рисунка. Составлена база данных цифровых значений текстуры льда для льдов различного строения и проведен первичный анализ полученных данных

3. Сравнительный анализ рядов значений предела прочности круглых пластин льда на изгиб с данными о их строении

3.1 Влияние кристаллического строения льда на возможности его разрушения методом измерения предела прочности круглых пластин на изгиб

Метод измерения предела прочности круглых пластин на изгиб подразумевает выделения из толщи льда горизонтальных дисков толщиной 2см. Для их получения выбуренный для этих целей керн распиливается на пластины.

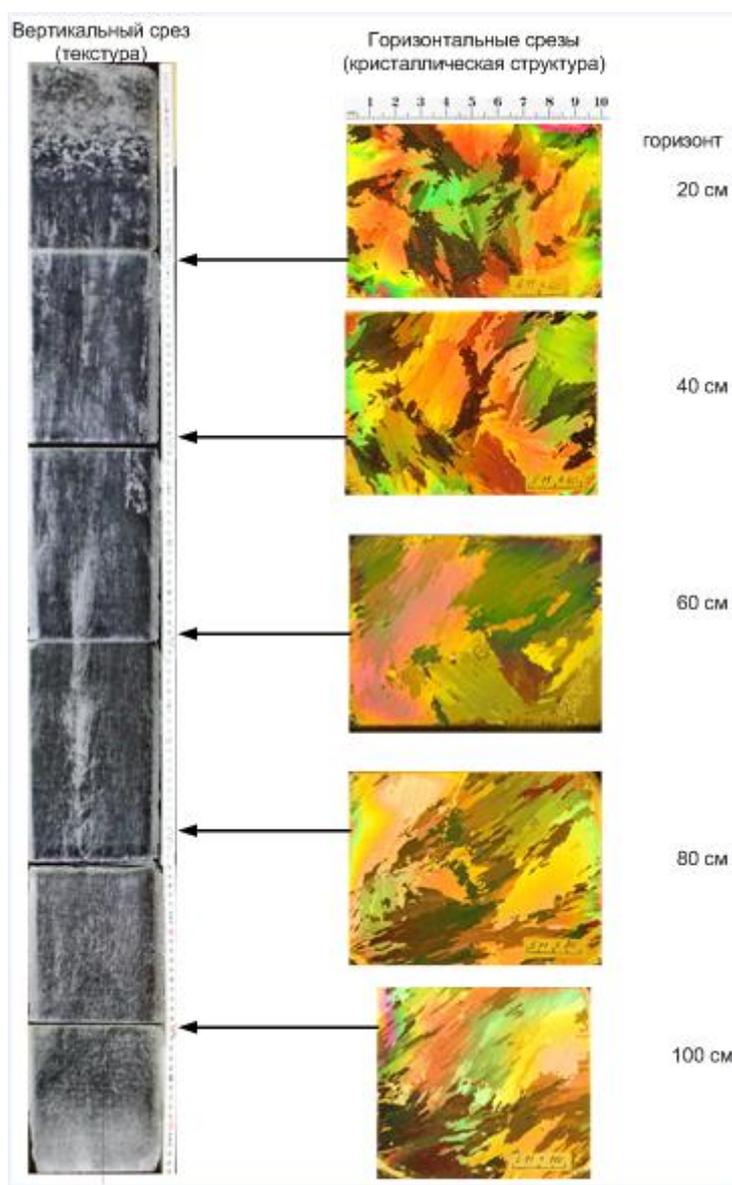


Рис.36 Текстурный срез керна

В результате распиловки у льдов различного строения в область диска попадает различное количество кристаллов, которые, которые имеют различные размеры, ориентировку и взаиморасположение, что должно сказываться на прочностных свойствах льда (рис.37).

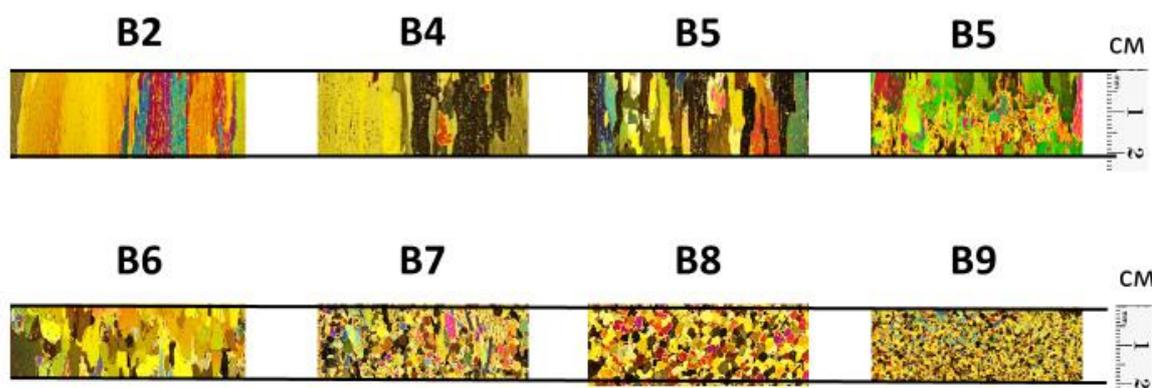


Рис.37 – Фотографии кристаллического строения вертикальных срезов льда толщиной 2см различных генетических типов.

У льдов волокнистой структуры следующих генетических типов: В1, В2 и В3, после отпиливания в объеме диска остаются фрагменты волокон, скрепленные между собой только боковыми межкристаллическими связями (Рис.37). Во льдах генетического типа В4 отдельные мелкозернистые кристаллы, находящиеся между волокнами, мало изменяют эту ситуацию в силу их немногочисленности, площадь занимаемой этими вкраплениями варьируется от 10 до 25 % от всей площади ледового среза.

Лёд генетического типа В5, в котором количество зернистых кристаллов сопоставимо или даже превышает количество волокнистых кристаллов в отрезанном диске имеет более сложное их взаиморасположение, когда каждый кристалл помимо боковых межкристаллических связей имеет связь с другими кристаллами вверху или внизу или вверху и внизу одновременно. Аналогичная картина наблюдается у льдов генетического типа В6, только вместо тонких образков волокон, основу строения этого льда составляют более объемные столбчатые кристаллы.

Льды генетических типов В7, В8 и В9 состоят из зернистых кристаллов, и в двухсантиметровой по толщине пластине могут помещаться несколько слоев, связанных со всех сторон друг с другом, зернистых кристалликов. Но у льдов этих типов более высокая пористость, особенно у льдов типов В8 и В9.

Исходя из анализа кристаллического строения льда в пластинах, можно предположить, что в зависимости от преобладающего генетического типа льда, предел прочности круглых пластин на изгиб будет различен. Чем более сложное и нестандартное(хаотичная) ориентирование кристаллов в пластине, когда отдельный кристалл имеет соприкосновение с другими кристаллами со всех сторон, тем лёд лучше сопротивляется внешнему воздействию. Данная ситуация для льдов типа В7, В8 и В9 может нивелироваться с увеличением различных включений, что в свою очередь приводит к увеличению пористости льда и уменьшению значений предела прочности.

3.2. Зависимость предела прочности круглых пластин на изгиб от генетического типа льда при различной температуре

Анализ изменения осредненных значений предела прочности круглых пластин на изгиб, полученных на основном ледовом полигоне в 2018г, показал, что существует определенная зависимость прочности пластин от генетического типа льда (рис.37). В этом анализе использовались данные, полученные при изучении льда одинакового кристаллического строения, но разнесенные по времени получения (с января по апрель).

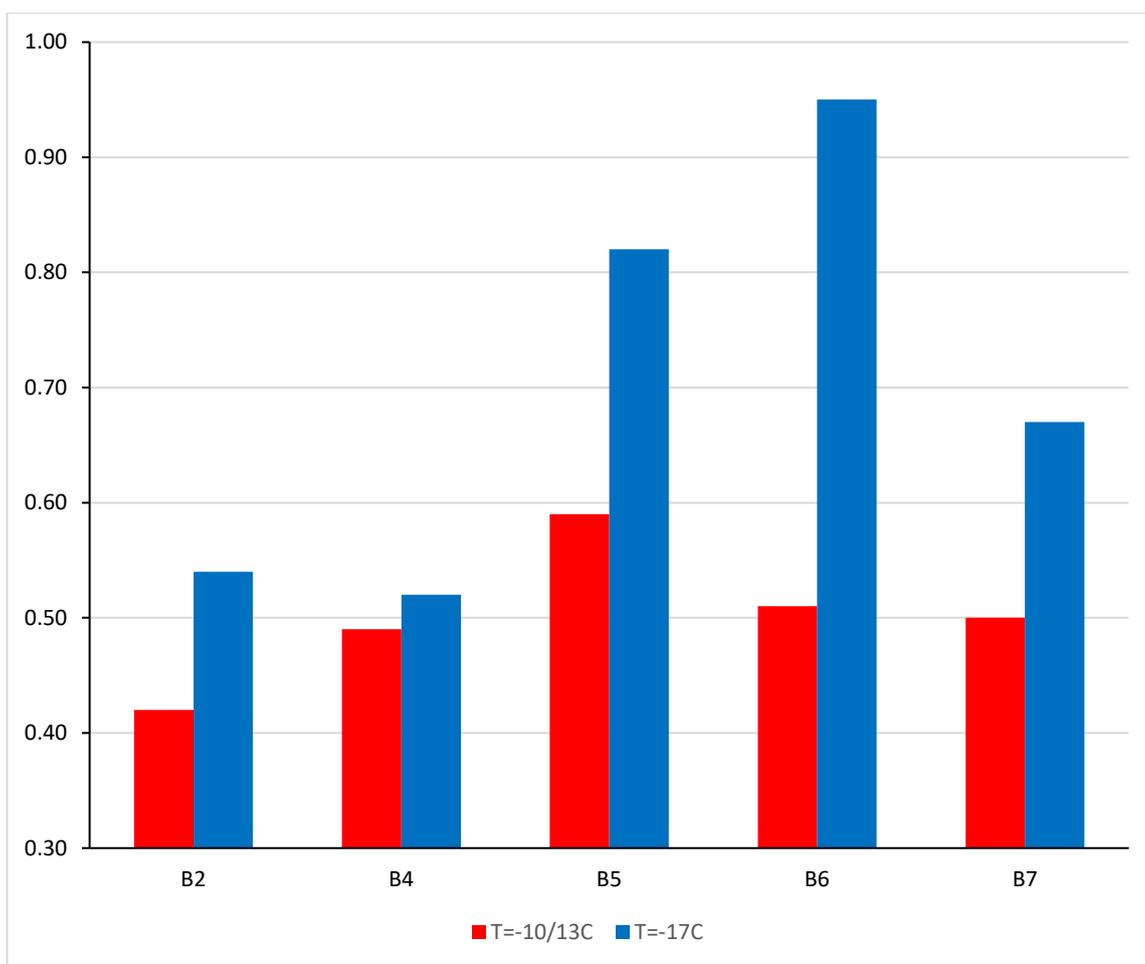


Рис. 37 – Изменение предела прочности круглых пластин на изгиб от генетического типа льда при различной температуре.

При анализе графика можно выявить следующие закономерности:

1. При одной и той же температуре наблюдается увеличение прочности льда от льда типа В2 к льдам типа В5 и В6 (это связано с кристаллическим строением льда, смотри ниже)
2. При понижении температуры с -10°C до -17°C , прочность льда увеличивается у всех генетических типов, но у льдов типа В5 и В6 особенно.
3. Нижний слой в 10см, сложенный волокнистыми кристаллами (тип льда В2 или В4) имеет предел прочности в 2 раза

меньше, чем вышележащий лед, что связано с текстурными особенностями нижних слоев льда.

4. Во льдах, сложенных волокнистыми кристаллами предел прочности конкретной пластины льда, во многом зависит от текстурных особенностей льда, и конкретного образца, в частности, и особенно от наличия вторичных включений.

Анализ результатов разрушения льда различного строения показал, что полученные концептуальные зависимости предела прочности для одного генетического типа сохраняются не зависимо от местоположения этого слоя в толще льда или в пространстве (рис.38) (В этом случае исследовались льды различного строения, где формирование льда протекает не только в обычных условиях путем естественного нарастания льда снизу, а в неоднородных условиях, когда нарастание льда происходит как снизу, так и сверху (у берега и у тороса)).

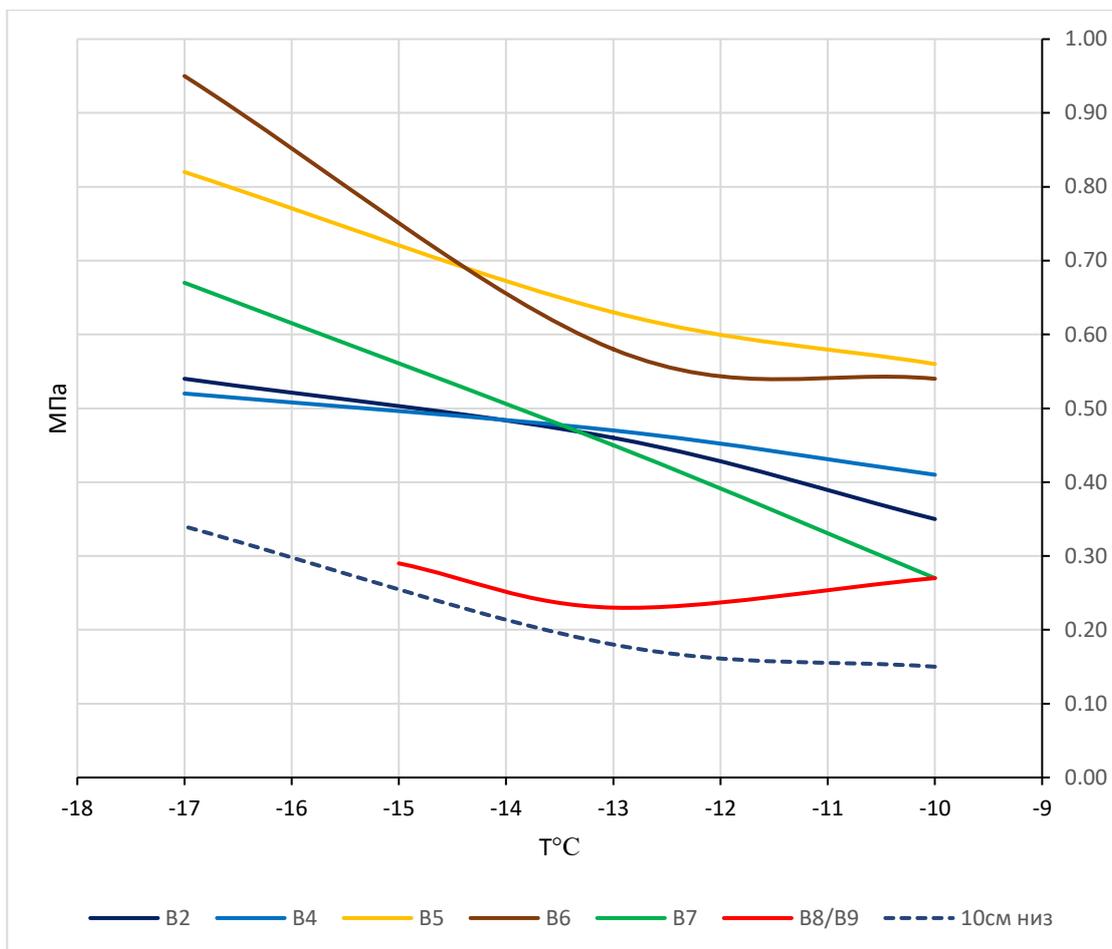


Рис. 38 Изменение средних значений предела прочности круглых пластин льда различного генетического типа от изменения температуры.

В результате можно констатировать:

1. Прослеживается зависимость увеличения прочности круглых пластин на изгиб для всех генетических типов с понижением температуры льда, кроме льдов типа В8 и В9, в которых такая зависимость не ярко выражена.

2. Наименьшие изменения осредненных значений предела прочности круглых пластин на изгиб с понижением температуры наблюдаются у льдов ярко выраженной волокнистой структуры В2 и В4, наибольшее у льдов типа В5 и В6

3. Льды, сложенные волокнистыми кристаллами (В2 и В4), имеют более линейную зависимость изменения средних значений предела прочности круглых пластин на изгиб со средним градиентом 0,02-0,03Мпа/1°С

4. Нижние 10см льдов волокнистой структуры примерно в 2 раза менее прочные, чем льды того же строения, расположенные выше, но градиент изменения предела прочности близок и составляет 0,03 Мпа/1°С

5. Льды, имеющие смешанное кристаллическое строение типа В5 (волокнистые и зернистые кристаллы) и В6 (столбчатые и зернистые кристаллы) имеют более сложную зависимость изменения средних значений предела прочности круглых пластин на изгиб с понижением температуры льда, особенно ниже -15°С.

6. В среднем наблюдается рост градиента предела прочности на изгиб круглых пластин на 1°С от льдов типа В2/В4 ко льдам типа В7 (Таблица 5).

Таблица 5 – градиент изменения средних значений предела прочности круглых пластин на изгиб льдов различного генетического строения.

| Тип льда | В2 | В4 | В5 | В6 | В7 | В8/В9 |
|--------------------|------|------|------|------|------|-------|
| Градиент Мпа/1° | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,004 |

Во льдах типа В5 и В6 при понижении температуры льда ниже -15°C наблюдаются более интенсивные изменения предела прочности круглых пластин на изгиб с градиентом $0,05-0,09 \text{ Мпа}/1^{\circ}\text{C}$.

Во льдах типа В7 прослеживается линейная зависимости средних значений изменения предела прочности круглых пластин на изгиб, но в силу малого количества измерений для этого типа льда, полученные зависимости могут быть не надежными.

Льды генетического типа В8/В9, выросшие сверху в силу своей большой пористости и неоднородности по строению могут иметь меньшую зависимость изменения предела прочности на изгиб от температуры льда, что и проявилось в полученных зависимостях

3.3 Зависимость предела прочности круглых пластин в одном генетическом типе льда на изгиб от текстурных особенностей льда

Зависимость предела прочности круглых пластин на изгиб от кристаллического строения (генетических типов) и температуры льда показана в предыдущем подразделе, но в приведенных зависимостях не выделено влияние текстуры льда. Текстура льда, в отличие от кристаллического строения, начинает изменяться с момента образования льда. У льдов различных генетических типов эти изменения могут протекать по-разному и с различной интенсивностью. Особенно они ярко выражены во льдах волокнистой структуры, где наблюдается трансформация первичных солевых включений и их дальнейшее слияние в каналы и стоковые русла.

Анализ данных изменения среднего количества вторичных включений в пластинах показал, что их количество увеличивается от начала образования льда до его разрушения (рис.39)

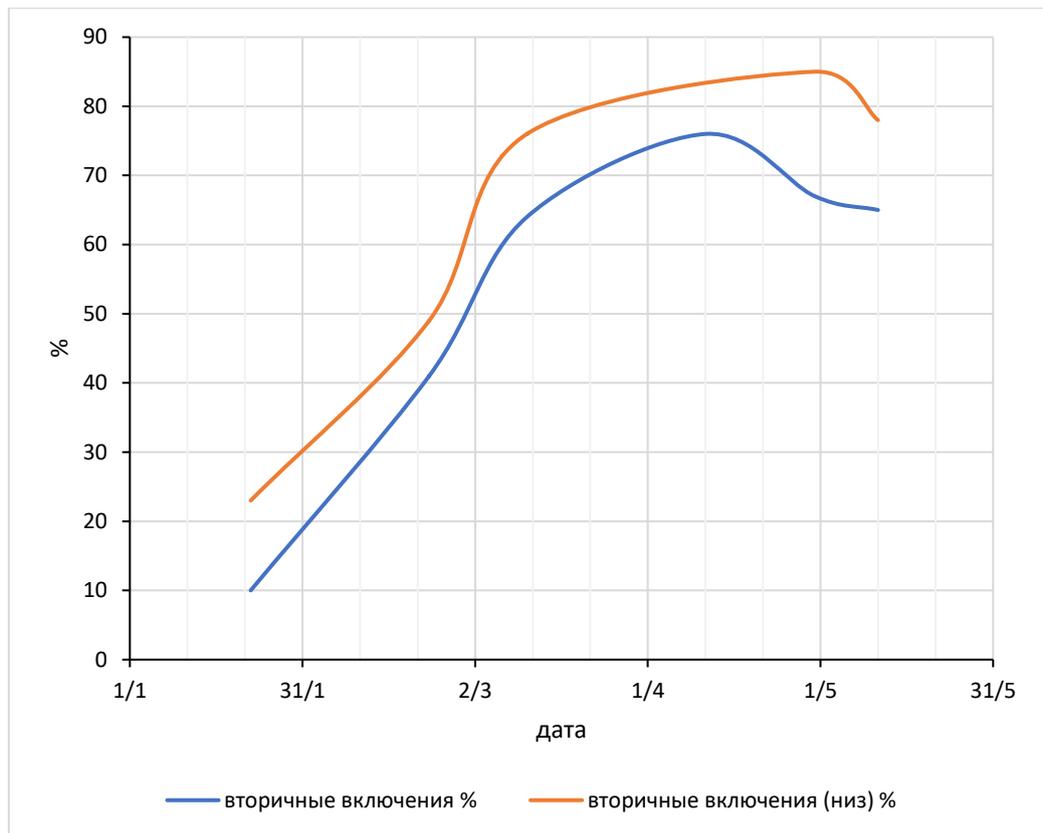


Рисунок 39 – Средняя площадь вторичных включений в образцах льда, сложенных волокнистыми кристаллами (типы льда В2 и В4) в %, относительно общей площади образца.

Можно выделить несколько временных этапов, когда происходит изменение интенсивности увеличения площади занятой вторичными включениями. Это первая декада марта, когда начинает сказываться воздействие радиационного прогрева, и начинается более интенсивное формирование солевых канальцев, и период от конца марта до начала мая, когда общее количество вторичных включений в пластинах льда волокнистой структуры достигает максимума и занимает 70-75% площади пластин. Нижние 10см льда, менее спаянные морозом и на самом низу создающие ажурный слой из мало скрепленных между собой волокон и, как показывают наблюдения, менее прочный чем вышележащий лед, имеет большее количество вторичных включений, занимающих в среднем до 85% площади образца.

Во льдах волокнистой структуры вторичные включения формируют стоковые каналы и русла, которые на горизонтальных срезах образуют ярко выраженный узор, состоящий из линий или переплетений, образующихся после плавления части волокон, в основном на участках сопряжения с другими волокнами, и последующей кристаллизацией рассола на этих участках (рис.40).

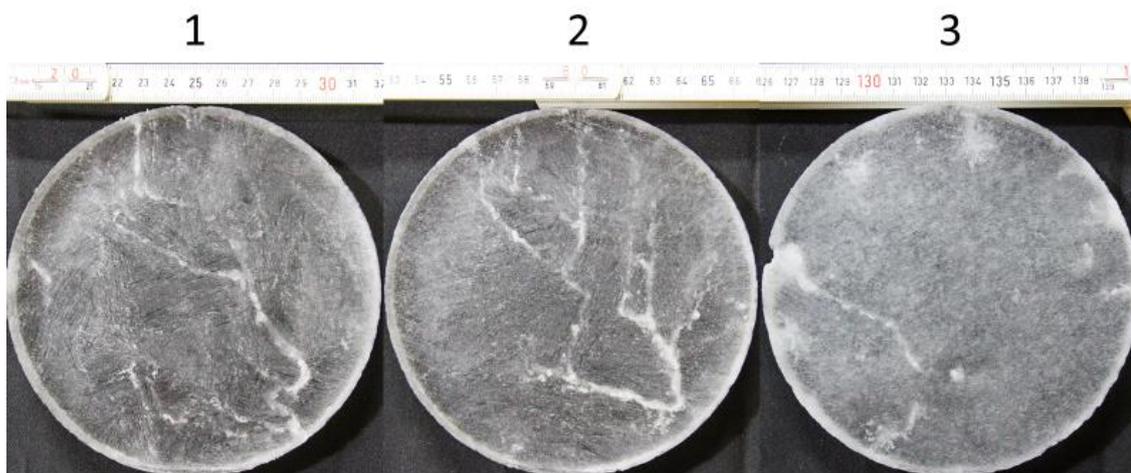


Рисунок 40 – Фотографии горизонтальных срезов льда волокнистой структуры на различных горизонтах, где:

1 – горизонт 25см;

2 – горизонт 60см;

3 – горизонт 133см (при толщине льда 135см)

Наличие стоковых каналов и русел в тоще льда меняет его текстуру, делает более неоднородным, что должно сказываться на его прочностных характеристиках. Площадь, занимаемая стоковыми каналами на горизонтальных срезах образцов, на порядок меньше площади занимаемой общим количеством вторичных включений, но характер изменений во времени, сохраняется (рис.41). Интенсивность развития стоковых каналов увеличивается в начале марта с усилением солнечной радиации, и дальше может захватывать в среднем до 8% площади образцов. Интересно ведут себя

стоковые каналы в нижней части льда, где на горизонтальных срезах переплетение линий пропадает и остаются отдельные точки (рис.40 позиция 3).

Можно констатировать, что вторичные включения по мере существования льда вносят изменения в его текстуру. Особенно это проявляется с началом более интенсивного воздействия солнечной радиации. Количество вторичных включений увеличивается, и увеличивается количество стоковых каналов. Образование стоковых каналов происходит не равномерно по толще льда, и их количество и степень развития могут варьироваться от слоя к слою. Особое место занимает лёд волокнистой структуры в нижней части льда. Количество вторичных включений в нем резко увеличивается, превышая среднее количество включений в вышележащих слоях, а вот площадь покрытия стоковыми каналами может уменьшаться, т.к. разветвленная сеть каналов характерная для льдов волокнистой структуры, собирается в более мощные каналы, которые аккумулируют сток рассола, сводя площадь, занятую каналами в небольшой участок (рис. 40 фрагмент 3).

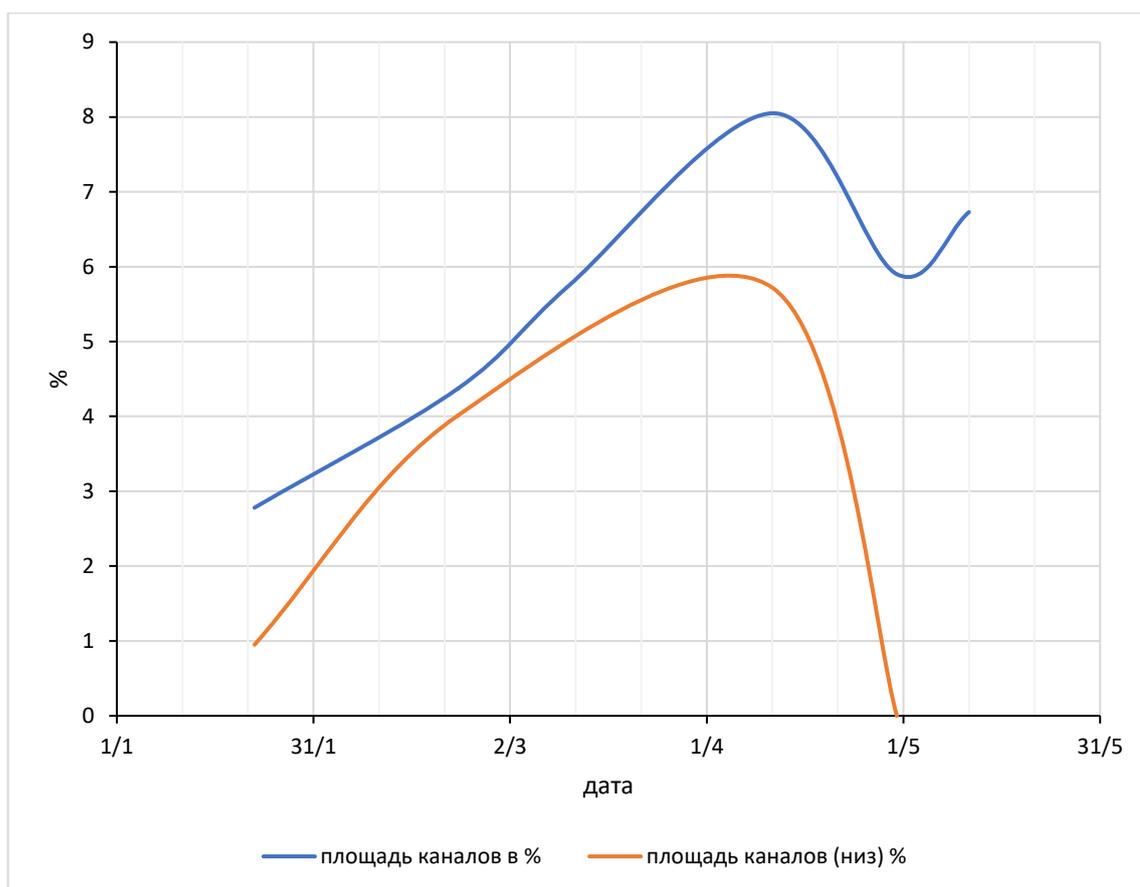


Рисунок 41 – Средняя площадь ярко выраженных стоковых солевых каналов в образцах льда, сложенных волокнистыми кристаллами (типы льда В2 и В4), относительно общей площади образца.

Сравнительный анализ предела прочности круглых пластин на изгиб и площади покрытия плоскости пластины вторичными включениями показал, что проявляется некоторая закономерность в распределении этих параметров по толщине льда (рис. 42). Увеличение площади вторичных включений в образце стимулирует уменьшение прочностных свойств льда. Более четко такая зависимость прослеживается при сравнении предела прочности на изгиб круглых пластин и площади занятой стоковыми каналами (рис. 42 позиция 2). Сглаживание по 3 значениям уменьшает влияние случайных погрешностей, возникающих на различных этапах отбора образцов для исследования и при их первичной обработке (рис. 43). Из графиков видно, что основное влияние на прочность пластин льда, сложенных волокнистыми структурами, оказывает

не столько общее количество вторичных включений в образце, сколько наличие сформированных стоковых каналов.

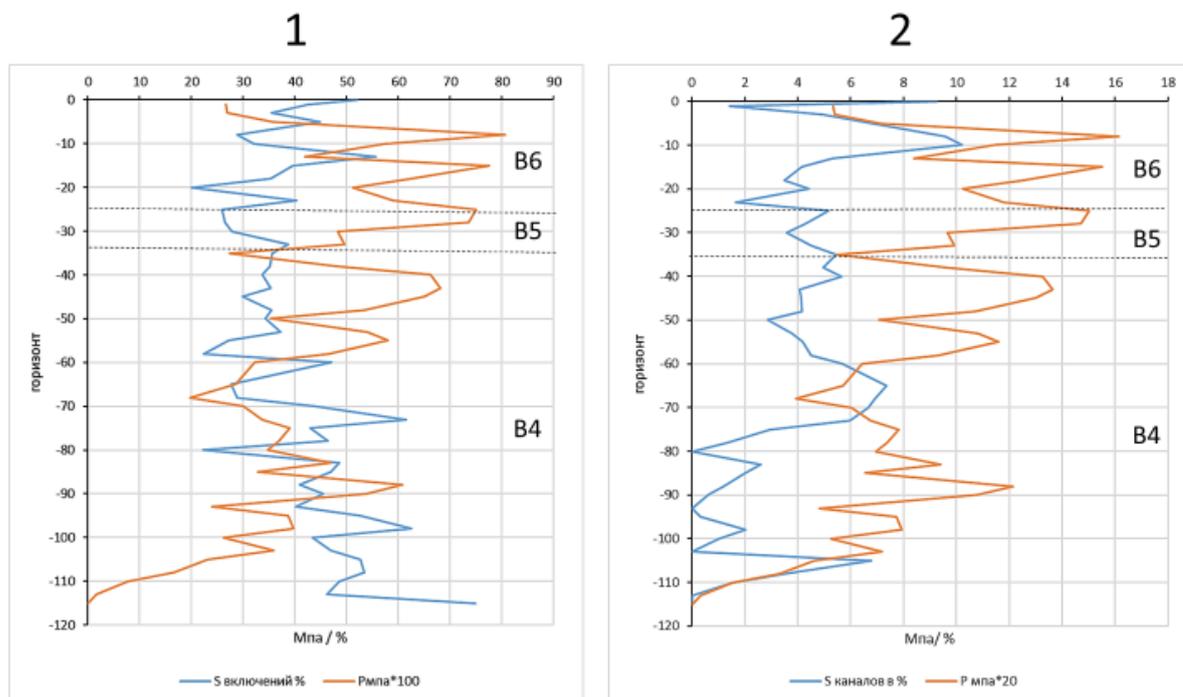


Рисунок 42 – Совмещенные графики предела прочности круглых пластин на изгиб и площади занятой вторичными включениями припайного льда, отобранного для исследования 25.02.2018г, где:

1 – площадь пластины в % покрытая вторичными включениями;

2 – площадь пластины в % покрытия каналами.

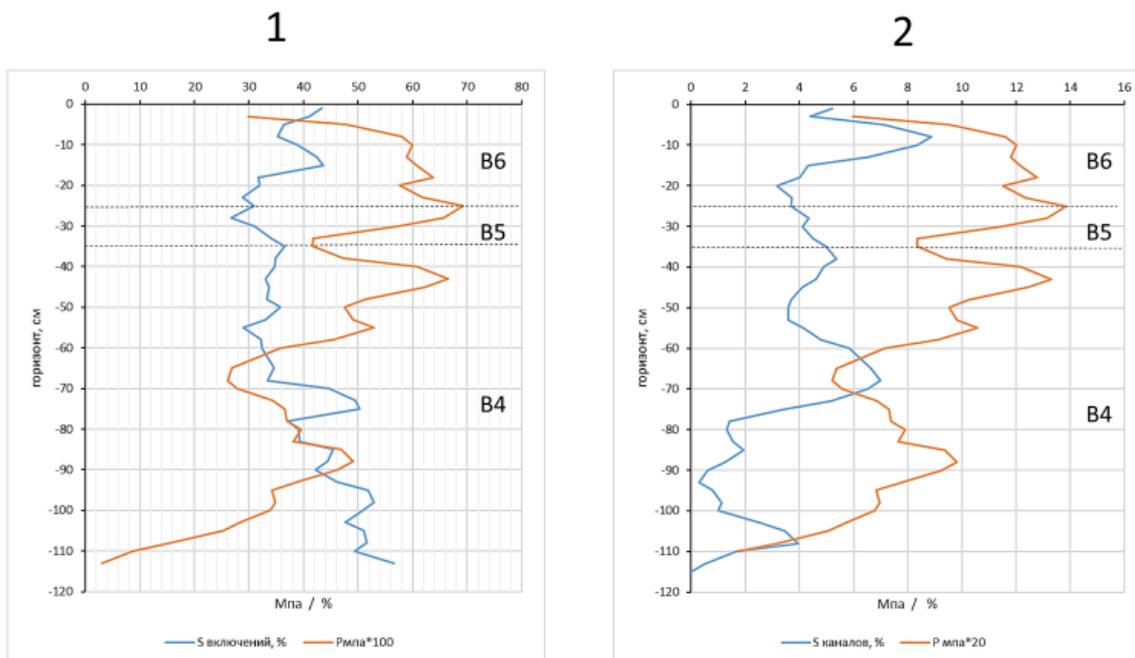


Рисунок 43 – Сглаженные по 3 значениям совмещенные графики предела прочности круглых пластин на изгиб и площади занятой вторичными включениями припайного льда, отобранного для исследования 25.02.2018г, где:

- 1 – площадь пластины в % покрытая вторичными включениями;
- 2 – площадь пластины в % покрытия каналами.

Можно констатировать, что чем больше количество стоковых каналов в образце, тем меньше предел прочности круглых пластин на изгиб. Исключением являются нижние 10-15см льда, где эта зависимость не работает, ввиду особенностей трансформации текстуры в нижних слоях льда волокнистой структуры. В этой части льда более показательно общее количество вторичных включений.

Если рассмотреть совпадения изменений предела прочности круглых пластин на изгиб по толщине льда от образца к образцу и изменение площади занятой стоковыми каналами на этих же образцах, то прослеживается хорошее совпадение (таблица 6). Для льдов волокнистой структуры этот параметр достигает 70%. Для льда более сложного строения, но сохраняющего

волокнистую основу (лед типа В5) – 67%. Для льдов зернистого и зернисто-шестоватого строения (В9, В8, В7 и В6) выявить такие же зависимости не удалось, ввиду малого количества данных.

Таблица 6 Средний процент совпадений трендов изменения предела прочности круглых пластин на изгиб с трендами изменения площади, занимаемой стоковыми каналами по толщине льда

| Генетический тип льда | В5 | В4 | В2 |
|------------------------------------|-----|-----|-----|
| Общее к-во рассматриваемых случаев | 321 | 420 | 431 |
| Процент совпадений трендов | 67 | 70 | 72 |

Изучение связи предела прочности круглых пластин на изгиб со строением льда показало, что основными факторами, влияющими на прочность льда, являются температура и кристаллическое строение льда. Причем кристаллическое строение оказывает существенные различия в полученных результатах при одинаковой температуре. По различиям в прочностных свойствах можно выделить три группы льдов: льды волокнистой структуры (В2, В3) и близкий к ним льды смешанного кристаллического строения типа В4; льды смешанного кристаллического строения В5 и В6; льды чисто зернистого строения В7, В8, и В9, причем льды типа В8 и В9 можно отнести в отдельную группу.

Прочность льда при одинаковой температуре увеличивается по мере увеличения коэффициента динамичности в обозначении генетических типов льда от В2 до В9. Наибольшую прочность при различной температуре льда показали льды типа В5 и В6. Неменьшая прочность была выявлена у льдов

типа В8 и В9, причем она незначительно зависит от понижения температуры. Льды волокнистой структуры (В2 и В4) более плавно реагируют на изменение температуры. Для осредненных значений прочности льда различных генетических типов получены градиенты изменения прочности на 1°C ., варьирующиеся в пределах 0,02 для льда В2/В4 до 0,06 для льдов типа В5 и В6. Нижние 10-15см льда волокнистой структуры имеют пониженную прочность и градиент изменения прочности $0,004\text{Мпа}/1^{\circ}\text{C}$

В пределах одного генетического типа льда предел прочности круглых пластин на изгиб зависит от количества вторичных включений и главным образом от количества стоковых каналов. Термометаморфические процессы, вызывающие изменения в текстуре льда, стимулируют постоянное увеличение количества вторичных включений от момента образования льда до его разрушения. Особенно это явление хорошо прослеживается во льдах волокнистой структуры.

В целом можно указать, что прочностные свойства льда зависят от его кристаллического строения (от генетического типа) и температуры, а в рамках одного генетического типа от текстуры льда, а в волокнистых структурах от количества вторичных включений и количества стоковых каналов. Поскольку лед при своем формировании образует льды различного кристаллического строения и текстуры, то в толще льда прочностные свойства будут меняться в соответствии с изменениями температуры и реального строения.

3.4 Выводы по главе

Был проведен сравнительный анализ рядов значений предела прочности круглых пластин льда на изгиб с данными о текстурном рисунке этих пластин, а также было проведено нахождение зависимости предела прочности круглых пластин льда от строения льда различных генетических типов, взятых в разных местах и в различные промежутки времени.

Заключение

В ходе проведения исследования было проведено изучение изменчивости прочностных свойств льда в зависимости от его строения и временных изменений. Также получили зависимости предела прочности круглых пластин льда от его строения, через классифицирование льда по структурно-генетическим типам и сравнения изменения прочностных свойств ледовых пластин в разных:

Определили количество вторичных включений в образцах льда на горизонтальных срезах относительно площади всего среза, путем разработки алгоритма перевода изображений текстуры пластин льда в цифровой вид и формированием таблиц с данными

Определили количество площади занятой вторичными включениями относительно общей площади образца для льдов, отобранных в различных точках (в пространстве и во времени). Контрольная точка, район берега и айсбергов.

Провели сравнительный анализ полученных результатов количества вторичных включений в образцах с пределом прочности на изгиб исследуемых образцов, сравнили полученные данные о количестве вторичных включений в образцах для льдов различных генетических типов и данные о их пределе прочности на изгиб.

В заключение, изучение пространственно-временной неоднородности морского льда имеет первостепенное значение для понимания климатической системы Земли и прогнозирования его будущих изменений. Морской лед служит критическим компонентом криосферы, влияя на глобальные обмены тепла и энергией, модели циркуляции океана и обеспечение среды обитания для различных организмов. Сложный и динамический характер морского льда

в сочетании с его неотъемлемой изменчивостью представляет проблемы в точном захвате его структуры и физических свойств.

Благодаря использованию полевых наблюдений, методов дистанционного зондирования и численного моделирования ученые добились значительного прогресса в изучении гетерогенности морского льда. Полевые наблюдения обеспечивают ценные данные о направлении истины, в то время как методы дистанционного зондирования предлагают более широкую перспективу и обеспечивают мониторинг крупномасштабных изменений с течением времени. Численные модели имитируют поведение морского льда, позволяя исследователям исследовать основные процессы и делать прогнозы о будущих изменениях.

. Понимая пространственно-временную неоднородность морского льда, исследователи могут улучшить климатические модели, уточнить прогнозы поведения морского льда и улучшить наше понимание климатической системы Земли. Эти знания имеют решающее значение для точного прогнозирования воздействия изменения климата на протяженность, толщину и распределение морского льда, а также его последствия для морских экосистем и человеческой деятельности в полярных регионах.

Будущие исследования в этой области должны сосредоточиться на дальнейшем улучшении методов наблюдения, улучшении возможностей дистанционного зондирования и уточнениях численных моделей, чтобы лучше улавливать сложность и изменчивость морского льда. Кроме того, следует поощрять междисциплинарные подходы, которые интегрируют физические, химические и биологические аспекты морского льда, чтобы обеспечить полное понимание ледообразования и его роли в климатической системе Земли.

Список литературы

1. Агатова А.И. Биохимические подходы к оценке продуктивности вод Мирового океана // Труды ВНИРО. 2014. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biohimicheskie-podhody-k-otsenke-produktivnosti-vod-mirovogo-okeana> (дата обращения: 25.09.2023).
2. Баштовая В.А., Белов В.Д., Садиев А.А., Савченко Д.С. исследование прочности льда на центральный изгиб // МНИЖ. 2022. №6-1 (120). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovaniya-prochnosti-lda-na-tsentralnyy-izgib> (дата обращения: 25.09.2023).
3. Веприяк И.А., Кошкин С.В. Аналитическое представление температурного профиля морского льда в весенне-летний период на Северном Морском Пути // Вестник МАХ. 2022. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskoe-predstavlenie-temperaturnogo-profilya-morskogo-lda-v-vesenne-letniy-period-na-severnom-morskom-puti> (дата обращения: 25.09.2023).
4. Владимир Р.А. Этот загадочный обыкновенный лёд // Наука и техника в Якутии. 2019. №2 (37). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/etot-zagadochnyy-obyknovennyu-lyod> (дата обращения: 25.09.2023).
5. Владимиров В. А., Чураков Ю. И. Проблема глобального изменения климата как природная опасность // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2014. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-globalnogo-izmeneniya-klimata-kak-prirodnaya-opasnost> (дата обращения: 25.09.2023).
6. Гавриленко А.С., Ефимов В.Б., Левадный Ю.В., Стадник А.М., Яцевич С.Е., Яцевич Е.И. Дистанционная диагностика морских льдов космическими радиолокаторами // Magyar Tudományos Journal. 2020. №37. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/distantsionnaya-diagnostika-morskih-ldov-kosmicheskimi-radiolokatorami> (дата обращения: 25.09.2023).

7. Деев М. Г. Ледяной покров Арктики и его устойчивость // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2011. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ledyanoy-pokrov-arktiki-i-ego-ustoychivost> (дата обращения: 25.09.2023).

8. Епринцев С.А., Клепиков О.В., Шекоян С.В. Дистанционное зондирование земли как способ оценки качества окружающей среды урбанизированных территорий // ЗНиСО. 2020. №4 (325). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/distantsionnoe-zondirovanie-zemli-kak-sposob-otsenki-kachestva-okruzhayushey-sredy-urbanizirovannyh-territoriy> (дата обращения: 25.09.2023).

9. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Рубцова О.А. Закономерности климатических изменений в XX В. И основные физические процессы, ответственные за эти изменения // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2011. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zakonomernosti-klimaticheskikh-izmeneniy-v-xx-v-i-osnovnye-fizicheskie-protsessy-otvetstvennye-za-eti-izmeneniya> (дата обращения: 25.09.2023).

10. Затыгалова В.В. Геоэкологический мониторинг загрязнений моря по данным дистанционного зондирования // Образовательные ресурсы и технологии. 2014. №5 (8). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoekologicheskii-monitoring-zagryazneniy-morya-po-dannym-distantsionnogo-zondirovaniya> (дата обращения: 25.09.2023).

11. Зеленина Л.И., Антипин А.Л. Льды Арктики: мониторинг и меры адаптации // АиС. 2015. №18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ldy-arktiki-monitoring-i-mery-adaptatsii> (дата обращения: 25.09.2023).

12. Коновалов В.Г., Рудаков В.А. Определение характеристик ледников по данным дистанционного зондирования (ДЗЗ) // Журнал СФУ. Техника и технологии. 2015. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-harakteristik-lednikov-po-dannym-distantsionnogo-zondirovaniya-dzz> (дата обращения: 25.09.2023).

13. Коновалов С.В. Методика проведения испытания на определение локальной прочности льда путем внедрения цилиндрического зонда-индентора в ровный ледяной покров // Вестник науки и образования. 2020. №3-1 (81). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-provedeniya-ispytaniya-na-opredelenie-lokalnoy-prochnosti-lda-putem-vnedreniya-tsilindricheskogo-zonda-indentora-v-rovnyu> (дата обращения: 25.09.2023).

14. Коновалов С.В. Обзор физико-механических свойств льда // Вестник науки и образования. 2020. №11-1 (89). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-fiziko-mehanicheskikh-svoystv-lda> (дата обращения: 25.09.2023).

15. Крупник И.И. Ледовые пространства арктических морей как аборигенный культурный ландшафт // Наследие и современность. 2018. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ledovye-prostranstva-arkticheskikh-morey-kak-aborigennyu-kulturnyy-landshaft> (дата обращения: 25.09.2023).

16. Латышева И.В., Белоусова Е.П., Олемской С.В., Лощенко К.А. Современные изменения климата на территории Иркутской области // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2010. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-izmeneniya-klimata-na-territorii-irkutskoy-oblasti> (дата обращения: 25.09.2023).

17. Пархоменко В.П. Проблемы изменения и прогнозирования климата // ЭП. 2020. №10 (152). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-izmeneniya-i-prognozirovaniya-klimata> (дата обращения: 25.09.2023).

18. Плотников В.В., Вакульская Н.М. Пространственно-временная изменчивость ледяного покрова Берингова моря // Вестник ДВО РАН. 2012. №6 (166). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prostranstvenno-vremennaya-izmenchivost-ledyanogo-pokrova-beringova-morya> (дата обращения: 25.09.2023).

19. Политько В.А., Кантаржи И.А. Исследуемые характеристики льда, необходимые для определения ледовых нагрузок // Вестник МГСУ. 2015. №12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issleduemye-harakteristiki-lda-neobhodimye-dlya-opredeleniya-ledovyh-nagruzok> (дата обращения: 25.09.2023).

20. Поломошнов А.М., Помников Е.Е., Шамсудинов Р.Р. Региональные особенности ледовых условий акваторий морских нефтегазовых месторождений // Инновации и инвестиции. 2020. №7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnye-osobennosti-ledovyh-usloviy-akvatoriy-morskih-neftegazovyh-mestorozhdeniy> (дата обращения: 25.09.2023).

21. Тимофеев О.Я., Сазонов К.Е., Добродеев А.А., Бокатова Е.А., Саперштейн И.А. Исследование прочностных свойств морского льда в обеспечение создания программных комплексов для расчета ледовой нагрузки // Труды Крыловского государственного научного центра. 2018. №4 (386). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-prochnostnyh-svoystv-morskogo-lda-v-obespechenie-sozdaniya-programmnyh-kompleksov-dlya-rascheta-ledovoy-nagruzki> (дата обращения: 25.09.2023).

22. Тышко К.П., Черепанов Н.В., Федотов В.И. Кристаллическое строение морского ледяного покрова // Санкт-Петербург Гидрометеиздат. 2000. URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-213115331.pdf (дата обращения: 25.09.2023).

23. Фалеев М.И., Цыбиков Н.А., Сидорович Т.И. Глобальные климатические изменения – фактор активизации природных и антропогенных

вызовов населению и окружающей среде // Технологии гражданской безопасности. 2022. №2 (72). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/globalnye-klimaticheskie-izmeneniya-faktor-aktivizatsii-prirodnih-i-antropogennyh-vyzovov-naseleniyu-i-okruzhayuschey-srede> (дата обращения: 25.09.2023).

24. Хименков А.Н., Кошурников А.В., Станиловская Ю.В. Геосистемы газонасыщенных многолетнемёрзлых пород // Арктика и Антарктика. 2020. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geosistemy-gazonasyschennnyh-mноголетnemuzlyh-porod> (дата обращения: 25.09.2023).