

Региональный центр Республики Саха (Якутия)
«Малая академия наук Республики Саха (Якутия)»
Некоммерческая организация «Целевой фонд будущих поколений
Республики Саха (Якутия)»

ЯКУТСКАЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ШКОЛА

Сборник статей

Казань
Издательство «Бук»
2024

УДК 0/9(063)

ББК 1/9я43

Я49

Редакционная коллегия:

Васильева Татьяна Дмитриевна, методист ГАНОУ РЦ РС(Я)

«Малая академия наук Республики Саха (Якутия)»

Протодияконова Анна Николаевна, старший методист ГАНОУ РЦ РС(Я)

«Малая академия наук Республики Саха (Якутия)»

Рецензенты:

Яковлева Александра Васильевна, кандидат педагогических наук, доцент

(Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова)

Павлов Иван Иванович, кандидат педагогических наук, доцент

(Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова)

Утвержден научно-методическим советом ГАНОУ РЦ РС(Я) «Малая академия наук Республики Саха (Якутия)», протокол № 1 от 17 января 2024 г.

Я49 **Якутская межрегиональная исследовательская школа** : сборник статей / Региональный центр Республики Саха (Якутия) «Малая академия наук Республики Саха (Якутия)», Целевой фонд будущих поколений Республики Саха (Якутия) ; под ред. Т. Д. Васильевой, А. Н. Протодияконовой. — Казань : Бук, 2024. — 88 с. — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-907839-05-2.

Сборник статей Якутской межрегиональной исследовательской школы предназначен школьникам, интересующимся проектной и исследовательской деятельностью, педагогам системы общего и дополнительного образования. В сборнике приведены методика и результаты исследований школьников, посвященных питательной ценности растений, особенностям функционирования солнечных панелей в Якутии, фотосинтетической активности растений как показателя биомониторинга, лингвистике эмоций, модифицированию сверхвысокомолекулярного полиэтилена, динамике ландшафтов средствами дистанционного зондирования Земли, солнечной активности и проектированию прототипа мобильного приложения.

УДК 0/9(063)

ББК 1/9я43

ISBN 978-5-907839-05-2

© Оформление. ООО «Бук», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

О ЯКУТСКОЙ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ШКОЛЕ.....	4
Петров М. Д., Матвеева А. В., Шамаев С. И., Решетников Н. П., Федорова Д. Ю., Константинов А. В., Зыкова А. Д. ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЯКУТИИ.....	15
Васильева С. М., Григорьева А. С., Еремеева С. Е., Иванова К. Г., Кулдаветова К., Лиханова А. И., Максимова С. П., Минебаева А. Т., Романова С. Ю. ВЛИЯНИЕ БИЛИНГВИЗМА НА ВЫРАЖЕНИЕ И ВОСПРИЯТИЕ ЭМОЦИЙ (НА МАТЕРИАЛЕ ЯКУТСКО-РУССКОГО ДВУЯЗЫЧИЯ).....	29
Оконешникова А. А., Семенов И. В., Назаралиев Н. Ф., Трофимова А. Д., Сосина Э. Е., Иннокентьев С. Е. РАЗРАБОТКА АНТРОПОМОРФНОГО МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ КОЛЕСНОГО ВЕЗДЕХОДА.....	36
Федорова Д. И., Строева К. И., Федотов П. К., Колесов Я. Е., Лаптева М. В., Матвеева Э. М., Соловьева А. Н., Федоров Э. А., Степанова А. Г. СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ ЦЕННОСТИ РАСТЕНИЙ ПО ИХ ЛИПИДНОМУ И ЖИРНОКИСЛОТНОМУ ПРОФИЛЮ.....	46
Федоров А. В., Никонова К. М., Борисов С. В., Слепцова Д. Н., Дьячковская С. Н., Колесова О. Е., Осипов А. Н., Старостина А. П. МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ И БИОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА.....	62
Карамзин Я. И., Давыдова Е. В., Плотникова М. В. МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ФТОРОПЛАСТОМ.....	78

О ЯКУТСКОЙ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ШКОЛЕ

Якутская межрегиональная исследовательская школа проведена с 16 по 25 июля 2023 года на базе ГАНОУ РЦ РС(Я) «Малая академия наук Республики Саха (Якутия)» при поддержке целевой программы «Во имя будущего» на 2021–2025 годы Некоммерческой организации «Целевой фонд будущих поколений Республики Саха (Якутия)».

Актуальность образовательной программы обусловлена целями и задачами государственной политики в области дополнительного образования детей до 2030 года, приоритетом развития научно-технического, естественнонаучного образования и исследовательской деятельности детей.

Цель школы: расширение механизмов вовлечения талантливой молодежи в работу над актуальными проблемами науки, технологии и бизнеса.

Задачи:

- популяризация и пропаганда научных знаний;
- приобретение школьниками опыта применения предметных знаний и практических навыков в профессиональной деятельности, адаптированной под формат проектной работы;
- получение школьниками опыта командной работы;
- подготовка школьниками проектов для участия в конкурсных мероприятиях, в том числе перечневых Минпросвещения РФ.

Якутская межрегиональная исследовательская школа разработана на основе опыта Международной исследовательской школы (МИШ), научными руководителями которой являются А. С. Обухов, А. В. Леонтович, К. С. Сальникова.

Организатор:

- ГАНОУ РЦ РС(Я) «Малая академия наук Республики Саха (Якутия)».

Партнеры:

- НО «Целевой фонд будущих поколений РС(Я)»;
- ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова»;
- ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук».

Старшеклассники из разных муниципалитетов Республики Саха (Якутия) собирались в проектные команды на несколько дней для участия в исследовательских экспресс-проектах. Проектная работа осуществлялась под руководством тьюторов, которые помогали разобраться в задаче и сопровождали школьников в течение всего проекта.

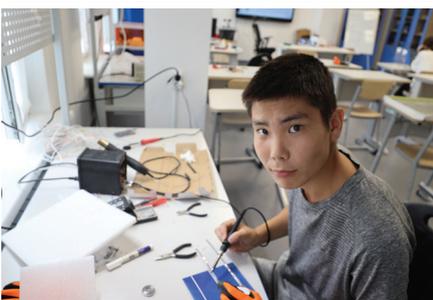
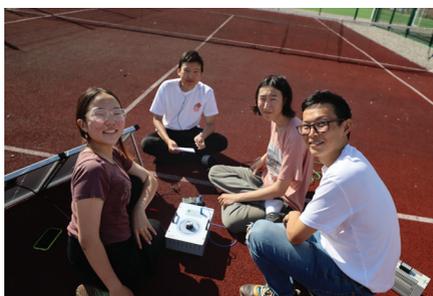
За 10 дней проекта ребята прошли все этапы ведения исследовательской работы: выдвижение гипотезы, постановка целей и задач, эксперимент, обработка полученных данных, защита результатов перед коллегами и экспертами. Работа завершилась публичной презентацией результатов, их обсуждением с участниками и экспертами. Проекты Якутской межрегиональной исследовательской школы:

- Сравнительное исследование питательной ценности растений по их липидному и жирнокислотному профилю.
- Исследование функционирования солнечных панелей с учетом климатических особенностей Якутии.
- Мониторинг окружающей среды с использованием спектральных методов и биофизических параметров флуоресценции хлорофилла.
- Модификация поверхности сверхвысокомолекулярного полиэтилена фторопластом.
- Влияние билингвизма на выражение и восприятие эмоций (на материале якутско-русского двуязычия)
- Разработка антропоморфного манипулятора для колесного вездехода.
- Анализ космических снимков для изучения динамики ландшафтов в условиях изменения климата.
- Детектор космических лучей Cosmic Watch.
- Разработка мобильного приложения «Мой МАН».

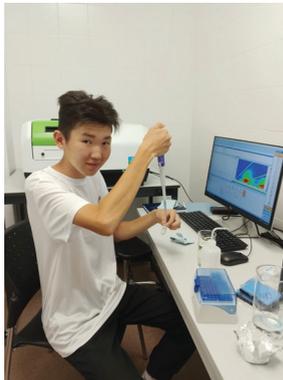
Данный сборник статей публикуется с целью приобщения школьников к качественным научным исследованиям и к открытости науки, к оперативным способам распространения информации о результатах оригинальных научных исследований авторов.



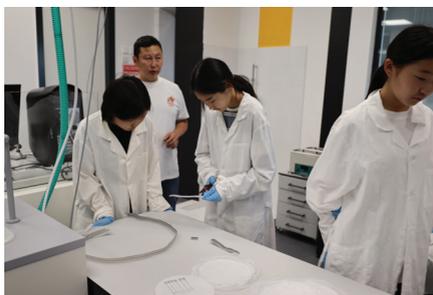
Проект «Сравнительное исследование питательной ценности растений по их липидному и жирнокислотному профилю»



Проект «Исследование функционирования солнечных панелей с учетом климатических особенностей Якутии»



Проект «Мониторинг окружающей среды с использованием спектральных методов и биофизических параметров флуоресценции хлорофилла»



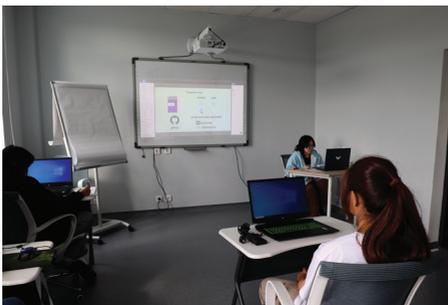
Проект «Модификация поверхности сверхвысокомолекулярного полиэтилена фторопластом»



*Проект «Влияние билингвизма на выражение и восприятие эмоций
(на материале якутско-русского двуязычия)»*



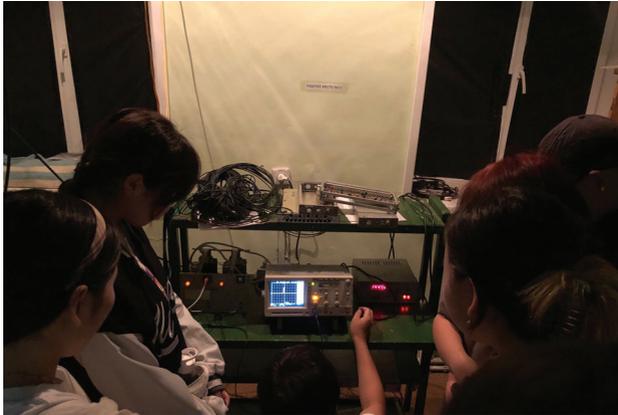
*Проект «Разработка антропоморфного манипулятора
для колесного вездехода»*



Проект «Разработка мобильного приложения «Мой МАН»



Проект «Анализ космических снимков для изучения динамики ландшафтов в условиях изменения климата»



Проект «Детектор космических лучей Cosmic Watch»

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЯКУТИИ

INVESTIGATION ON THE FUNCTIONING OF SOLAR PANELS CONSIDERING CLIMATIC FEATURES OF YAKUTIA

Петров Марат Дмитриевич,

*Специализированный учебно-научный центр — Университетский
лицей ФГАОУ ВО «СВФУ имени М. К. Аммосова», 11-й класс*

Матвеева Анджелина Валерьевна,

*Специализированный учебно-научный центр — Университетский
лицей ФГАОУ ВО «СВФУ имени М. К. Аммосова», 10-й класс*

Шамаев Сэсэн Иванович,

ГБНОУ РС (Я) «Республиканский лицей-интернат», 11-й класс

Решетников Ньургун Петрович,

ГБНОУ РС (Я) «Республиканский лицей-интернат», 10-й класс

Федорова Дайаана Юрьевна,

ГБНОУ РС (Я) «Республиканский лицей-интернат», 9-й класс

Константинов Альберт Васильевич,

*МБОУ «Сунтарский политехнический лицей-интернат» МР «Сунтар-
ский улус (район)», 9-й класс*

Зыкова Андриана Дмитриевна,

*МБОУ «Майинский лицей имени И. Г. Тимофеева» МР «Мегино-
Кангаласский улус», 9-й класс*

Научный руководитель: Боякинов Евгений Федорович,

*ассистент кафедры «Теоретическая физика» Физико-технического
института ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный
университет им. М. К. Аммосова»*

Ключевые слова: маломощная солнечная электростанция, резко континентальный климат Якутии, эффективность солнечных панелей

Keywords: low-power solar power plant, extreme continental climate, efficiency of solar panels

Аннотация. Представлена портативная солнечная электростанция с рабочей мощностью солнечной панели 100 Вт с возможностью сбора климатических данных через программные модули Arduino. Изучено и проанализировано влияние резко континентального климата Якутии на электрофизические параметры монокристаллической солнечной панели с представлением результатов измерения вольт-амперных характеристик в зависимости от внешних параметров в летний период: времени суток, светового потока, температуры и вида погоды, концентрации микрочастиц P.M2.5. Эмпирически оценен срок окупаемости портативной солнечной электростанции.

Abstract. A portable solar power station with an operating power of the solar panel is 100 W with the ability to collect climate data through Arduino software modules. The influence of the sharply continental climate of Yakutia on the electrophysical parameters of a monocrystalline solar panel was studied and analyzed, presenting the results of current-voltage characteristics depending on external parameters in the summer, such as: time, luminous flux, temperature and type of weather, concentration of P.M2.5 microparticles. The payback period of a portable solar power plant has been empirically estimated.

Электроэнергетические системы, основанные на солнечных панелях, активно внедряются при строительстве инфраструктурных объектов, удаленных от традиционных источников электроэнергии. Такой подход при корректной эксплуатации приводит к значительному сокращению капитальных расходов на обслуживание. В условиях Якутии, где снижение потребления твердого и жидкого топлива является актуальной задачей, использование возобновляемых источников энергии приобретает особую важность. Уникальность нашего исследования заключается в том, что оно направлено на анализ влияния резко континентального климата Якутии на работу солнечных панелей. Удивительно, что в Научной электронной библиотеке не обнаружено аналогичных технических отчетов и научно-исследовательских работ. Этот факт подчеркивает значимость нашего иссле-

дования и его потенциальный вклад в оптимизацию эффективности солнечных электроустановок в климатически сложных условиях Якутии.

Разнообразие энергетических решений для изолированных объектов. При принятии решений о выборе низкоуглеродных источников энергии для изолированных объектов или поселений важную роль играет наличие энергетического потенциала в их местоположении. Например, наличие реки или моря вблизи объекта предполагает возможность использования гидроэнергии или приливных систем (для крупных объектов, как порты, могут рассматриваться даже плавучие атомные электростанции). В случае если поселение находится вдали от водоемов, логично обратить внимание на использование ветровой энергии. Сегодня в Арктической зоне России себестоимость электроэнергии, произведенной на дизельном топливе, в среднем может составлять более 40 руб./кВт·ч [1]. Перечислим только некоторые региональные тарифы на электроэнергию: в Якутии в сельских местностях одноставочный тариф составляет 5,53 руб./кВт·ч, в Чукотском автономном округе — 15,63 руб./кВт·ч [2; 3]. Ежегодный рост стоимости электроэнергии в целом по России составляет около 5%. В других арктических регионах тарифы в действительности в разы превосходят среднероссийский уровень. Особая актуальность проблемы тенденции роста тарифов на электроэнергию заставляет искать альтернативные источники энергии. Однако в столь стремительно изменяющемся мире требуется время, чтобы определить, какие из них являются наиболее ценными и обладают наибольшим потенциалом, чтобы стать успешной коммерческой инновацией. Рассмотрение альтернативных источников энергии с учетом особенностей местности — это инновационный подход к обеспечению устойчивого энергоснабжения в различных изолированных областях.

Географически вся территория республики относится к районам Крайнего Севера. Резко континентальный, субарктический климат Республики Саха (Якутии) характеризуется крайне суровыми условиями, включая долгую зиму и короткое лето, сильные морозы, краткий солнечный период и участвовавшие в последние годы пожары из-за ускоренного изменения климата Якутии. Территория Якутии расположена в зоне вечной мерзлоты и имеет самую большую мощ-

ность слоя вечной мерзлоты в мире. Годовая амплитуда температур составляет около 100 градусов по шкале Цельсия. Несмотря на все вышеперечисленные особенности, известно, что Якутия обладает потенциалом для использования солнечной энергии. Существующие технологии не всегда эффективно работают в таких условиях [4; 5]. Данное исследование имеет практическое значение для обеспечения энергетической независимости и устойчивости этого региона.

В связи с этим было предложено провести исследование и разработку автономных устройств для мониторинга работы солнечных панелей в условиях Якутии. Объектами исследования являются солнечные панели, функционирование которых в условиях Якутии подвержено влиянию особых климатических особенностей, таких как сильные годовые перепады температур, выбросы микрочастиц в воздух вследствие пожаров по всей территории Якутии и соседних регионов.

Описание работы

Эксперименты проводились с 19.07.2023 по 23.07.2023 на базе полигона Малой академии наук РС(Я) в с. Чапаево (координаты: 61°39'40"N 129°23'33"E). В ходе работ использовано следующее оборудование: переносная монокристаллическая солнечная панель до 100 Вт, контроллер заряда, литий-железо-фосфатная (LiFePO_4) батарея на 12 В на 48 А · ч, реостат, прототип на базе Arduino для сбора данных, ноутбук, смартфон, мультиметр, инфракрасный термометр, датчики Arduino, датчик освещенности PYR20 (Aliexpress), датчик дыма, датчики тока и напряжения, датчик средней температуры поверхности солнечной панели.

К прямым измеряемым параметрам относятся освещенность ($\text{Вт}/\text{м}^2$), концентрация микрочастиц PM2.5, напряжение и ток, снятые с солнечной панели с использованием реостата.

Методика

А) Сбор данных со спутника позволяет получать данные о погоде и инсоляции. Для этого используется сайт Windy.com. Это популярный веб-сервис, предоставляющий информацию о погоде и климате по всему миру, включая Якутию, дающий доступ к актуальным

метеорологическим данным и предсказаниям на основе различных источников данных и моделей. Сайт также содержит прогнозы погоды, карты и архивные данные, что очень полезно для научных и практических исследований климата в селе Чапаево Республики Саха (Якутия).

Данные на Windy.com обновляются часто (в зависимости от измеряемого параметра, зачастую — каждые 3 часа) и в режиме реального времени. Это позволяет пользователям получать актуальную информацию о погоде и климате в любой точке земного шара.

На основе данных со спутника была создана таблица, где были записаны следующие данные о климате в селе Чапаево: интенсивность дождя, гроз (мм), скорость ветра (км/ч), температура (°C), облачность (%), выбросы микрочастиц PM2.5 (мкг/м³), концентрация монооксида углерода (мкг/м³), сила пожара (%), масса пыли (мкг/м³), давление (мм рт. ст.), а также время суток, когда проводились измерения. Измерения проводились в самый солнечный месяц Якутии, с 19 по 23 июля 2023 года, время измерений: 10:00, 14:00, 16:00, 17:00. Все собираемые данные (около 12 параметров) были сохранены в таблице Excel. Далее результаты измерений могут быть представлены графически. Возможно использование API или веб-скрапинга для получения данных о погоде и инсоляции с сайта Windy.com с автоматическим мониторингом данных с определенной периодичностью.

Б) Разработка прототипа маломощной солнечной электростанции. На рисунке 1 представлена общая схема соединения солнечной электростанции. Здесь солнечная панель напрямую подключена к контроллеру заряда, регулирующему ток и напряжение на батарее, обеспечивая тем самым безопасную работу солнечной электростанции и в целом защиту всей цепочки соединяемых элементов. Далее от контроллера заряда напряжение 12 В и выходной ток передается на аккумулятор. Параллельно к контроллеру еще один выход выводится через автомобильный инвертор, преобразующий постоянное напряжение 12 В в переменное 220 В. Номинальная мощность выводного инвертора до 600 Вт. Общая стоимость установки в пределах 20 тыс. руб.

В) Методика измерения вольт-амперных характеристик, солнечной освещенности местности, климата Якутии. Краткую инструкцию по верификации технических параметров можно рассмотреть в работе [6]. В нашей работе были собраны две отдельные



Рис. 1. Общая схема солнечной электростанции

схемы, представленные на рисунках 2 и 3. На рисунке 2 представлена эквивалентная схема исследования вольт-амперных характеристик солнечной панели. Измерения проводились преимущественно в солнечные, малооблачные дни с помощью двух мультиметров: один последовательно подключен к цепи для измерения тока при заданной нагрузке, другой — параллельно к нагрузке. Солнечная панель выполнена из монокристаллического кремния с заявленным КПД 21%, номинальная мощность 100 Вт. Общая площадь солнечных элементов 0,44 м². В роли нагрузки выступает школьный реостат. Максимально допустимый ток реостата 12 А. При установке панели азимут и высота солнца над горизонтом по заданным координатам и време-

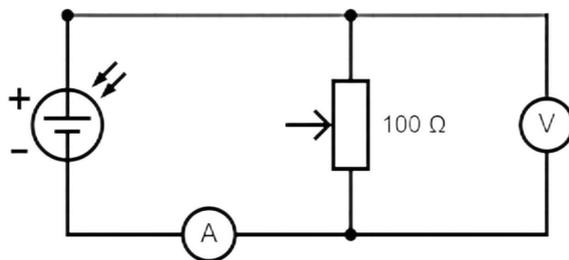
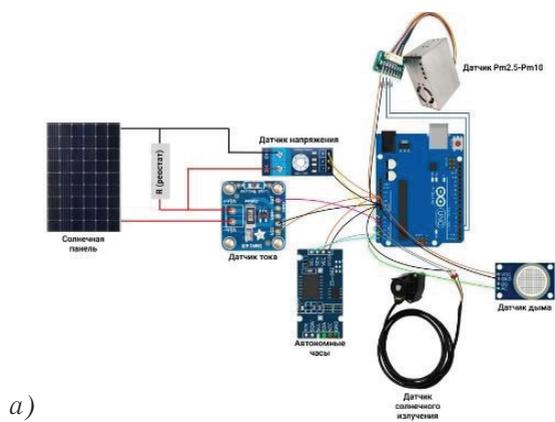
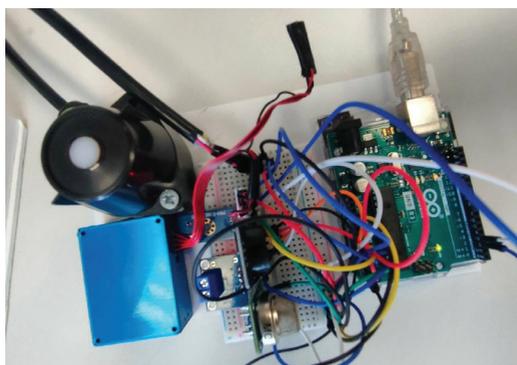


Рис. 2. Эквивалентная схема, при которой проводились измерения вольт-амперных характеристик солнечной панели



а)



б)

Рис. 3. Прототип автономного сборщика данных на платформе Arduino

ни наблюдения подбирались таким образом, чтобы мощность выработки электроэнергии была максимальной (<https://planetcalc.ru/>).

На рисунке 3 изображен прототип автономного сборщика данных на базе Arduino с подключением датчиков тока и напряжения от солнечной панели, датчиков дыма, микрочастиц PM1.0, PM2.5, PM5, PM10, инсоляции, автономных часов: а) принципиальная схема подключения; б) сам прототип. Для согласования результатов дополнительно использованы автономные часы, измерения происходят с интервалом в 1 минуту.

Основные результаты

В данной работе представлены измерения, напрямую снятые с солнечной панели (номинальная мощность до 100 Вт) через нагрузочное сопротивление реостата, от: а) 19.07.2023; б) 22.07.2023; в) 23.07.2023 (рис. 4).

По полученным результатам построена зависимость мощности от напряжения солнечной панели (рис. 5). Максимальная мощность получена 22.07.2023 (рис. 5б) в 14:40 (около 90 Вт). Зная площадь солнечной панели ($0,44 \text{ м}^2$) и значение мощности солнечного излучения (1942 Вт/м^2), через датчик, подключенный к Arduino, можно рассчитать КПД. КПД в таком случае получается около 10,5%, что примерно в два раза ниже заявленного.

На рис. 6а представлены показатели выдаваемой мощности солнечной панели в течение 19.07.2023 (1-й день) и 22.07.2023 (2-й день). Далее использована средняя мощность двух дней, представленных на рис. 6а, где синяя кривая относится к первому дню, оранжевая — ко второму. Кроме того, в учет не берутся облачные дни ввиду текущей технологической сложности реализации в указанное время. Для оценки сроков окупаемости используемой маломощной электростанции использованы данные с сайта оценки солнечной инсоляции (<https://nova-sun.ru/insolyatsiya-v-rossii/yakutsk>). В соответствии с ним оценена электроэнергия, вырабатываемая за год, что составило $615 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Тариф на электричество брали $7,88 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч}$. Соответственно, выходит, что за год окупается около 4846 руб. Минимальный срок окупаемости составил около 4–5 лет при стоимости солнечной портативной электростанции 20 000 руб.

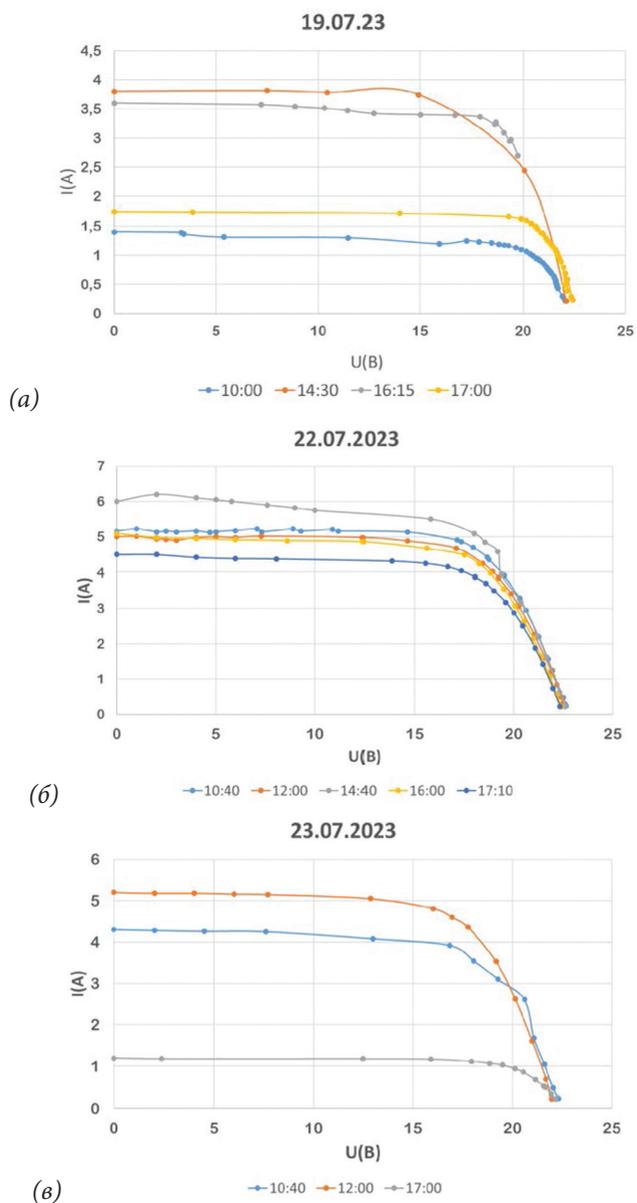


Рис. 4. Результаты вольт-амперных характеристик солнечной панели

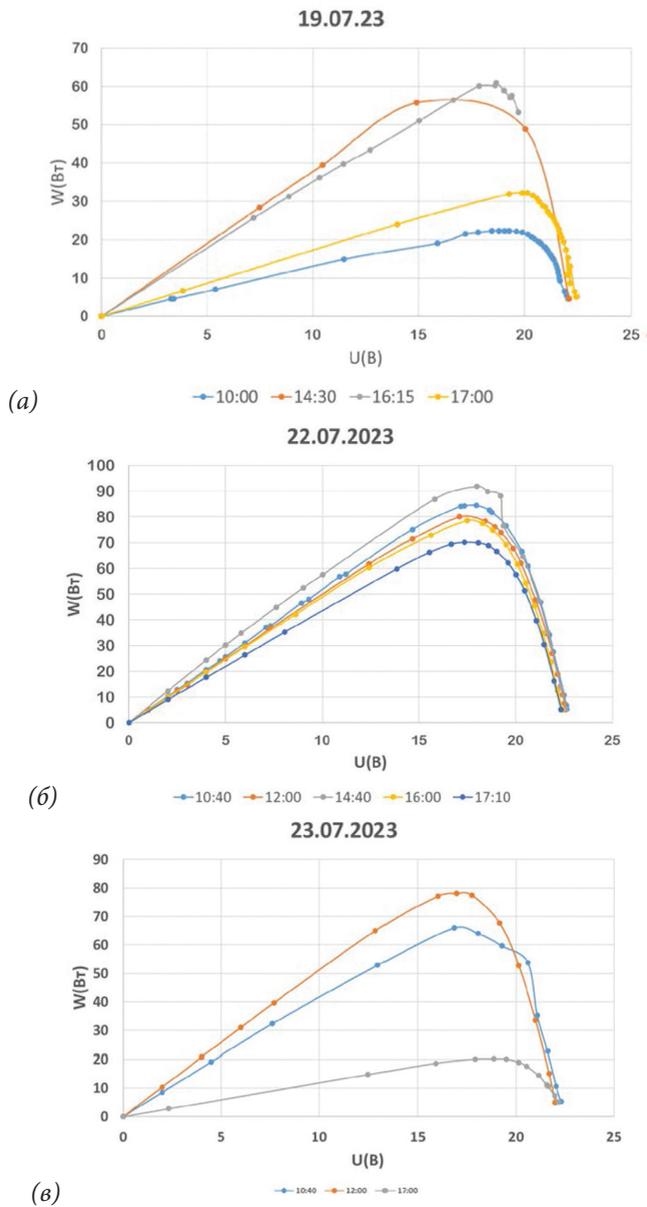
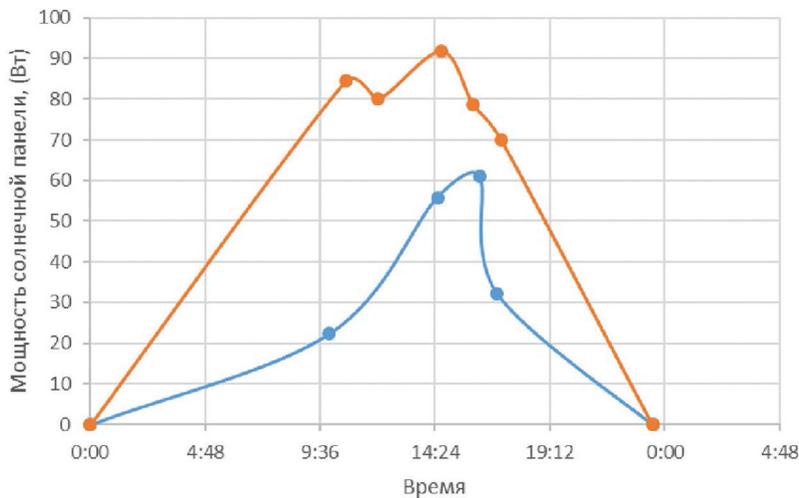
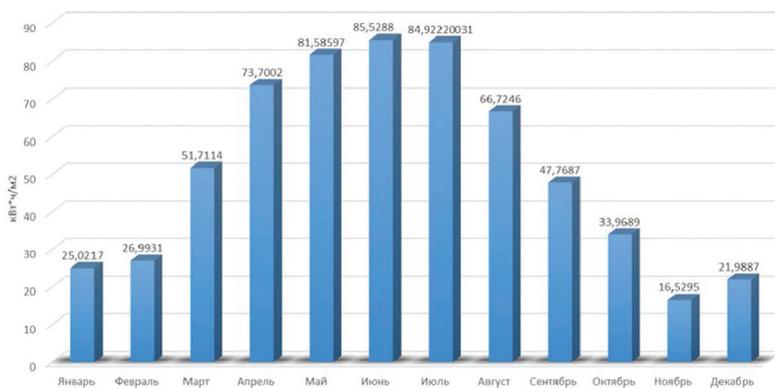


Рис. 5. Зависимость мощности от напряжения солнечной панели



а)

—●— 1й день —●— 2й день
кВт*ч/м2 по месяцам



б)

Рис. 6: а) график зависимости мощности солнечной панели на 100 Вт от времени суток; б) данные с сайта оценки солнечной инсоляции (<https://nova-sun.ru/insolyatsiya-v-rossii/yakutsk>), пересчитанные в соответствии с максимальными показателями мощности

На рисунках 7 и 8 приведены спутниковые данные. Средняя масса пыли составляла около 6 мкг/м^3 , минимальная облачность была 22.07.2023, средняя температура находится в пределах $15\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C}$.

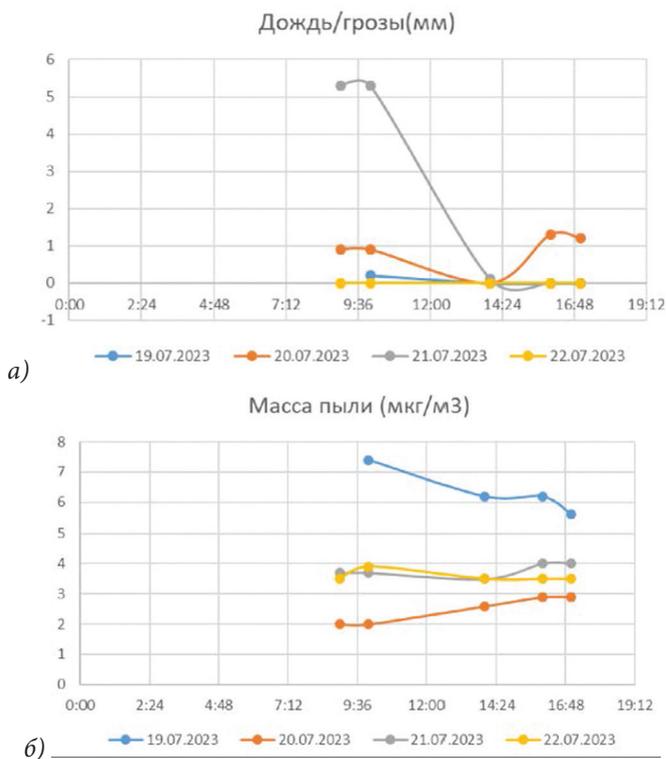


Рис. 7. Спутниковые данные: а) дождь (мм); б) масса пыли (мкг/м³)

Заключение

Разработаны автономные солнечные электростанции с возможностью сбора информации со спутников и датчиков посредством использования платформы Arduino. Проведен сбор и анализ результатов о работе солнечных панелей в климатических условиях г. Якутска (с. Чапаево), включая вольт-амперные характеристики солнечной панели. Выявлено время суток, когда можно получить максимальную эффективность (10,5%): полдень (12–13 часов). Минимальный срок окупаемости портативной солнечной электростанции составляет 4,5 года.

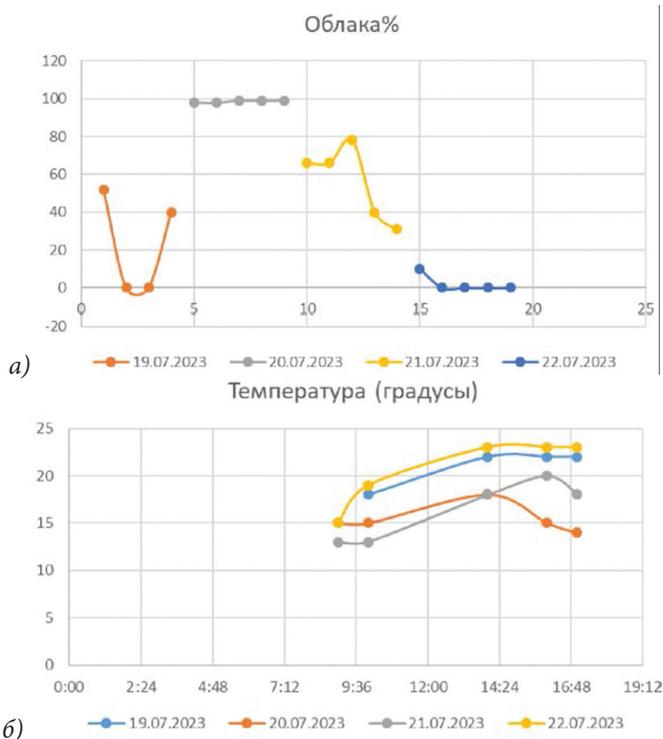


Рис. 8. Спутниковые данные: а) облака (%); б) температура воздуха ($\text{мкг}/\text{м}^3$)

Исследование функционирования солнечных панелей с учетом климатических особенностей Якутии позволит определить эффективность и целесообразность использования солнечной энергии в данном регионе. Полученные результаты могут быть полезными для разработки и внедрения солнечных электростанций в удаленных и недостаточно энергообеспеченных районах Якутии.

Список литературы

1. Карасевич В. А., Черных А. С., Яковлев А. А. Перспективы применения автономных источников энергии при транспортировке и распределении газа // Научный журнал Российского газового общества.— 2016.— № 1. — С. 59–61.

2. Постановление Государственного комитета по ценовой политике Республики Саха (Якутия) от 17 ноября 2022 г. № 218 г. Якутск «Об установлении тарифов на электрическую энергию для населения и приравненных к нему категорий потребителей по Республике Саха (Якутия) на 2023 год» // [Эл. ресурс]. — Режим доступа: https://www.dvec.ru/private_clients/tariffs/2022/ykt_electro_20221117_218.pdf
3. Постановление Комитета государственного регулирования цен и тарифов Чукотского АО от 17 февраля 2023 года № 3-э/1 г. Анадырь «Об установлении тарифов на электрическую энергию, поставляемую населению и приравненным к нему категориям потребителей Чукотского автономного округа на 2023 год» // [Эл. ресурс]. — Режим доступа: https://www.chukotenergo.ru/upload/sbit_tarif/Post_KGRCiT_17-02-2023_3-e1.PDF
4. Васильев П. Ф., Местников Н. П. Исследование влияния резко континентального климата Якутии на функционирование солнечных панелей // Международный технико-экономический журнал.— 2021.— № 1. — С. 57–64.
5. Иванова И. Ю., Ноговицын Д. Д., Тугузова Т. Ф., Шеина З. М., Сергеева Л. П. Анализ функционирования солнечных электростанций в децентрализованной зоне Республики Саха (Якутия) // Альтернативная энергетика и экология.— 2018.— № 10–12. — С. 12–22.
6. Местников Н. П. Применение солнечной электростанции в условиях сельской местности Якутии / Н. П. Местников, А. М.-Н. Альзакаар // Новые технологии в учебном процессе и производстве: материалы XXI Международной научно-технической конференции, посвященной 35-летию полета орбитального корабля-ракетоплана многоразовой транспортной космической системы «Буран», Рязань, 12–14 апреля 2023 года / под редакцией А. Н. Паршина. — Рязань: Рязанский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», 2023. — С. 216–217. — EDN CWBRME.

ВЛИЯНИЕ БИЛИНГВИЗМА НА ВЫРАЖЕНИЕ И ВОСПРИЯТИЕ ЭМОЦИЙ (НА МАТЕРИАЛЕ ЯКУТСКО-РУССКОГО ДВУЯЗЫЧИЯ)

INFLUENCE OF BILINGUALISM ON EXPRESSION AND PERCEPTION OF EMOTIONS (ON THE MATERIAL OF YAKUT-RUSSIAN BILINGUALISM)

Васильева Сандаара Михайловна,

ГАНОУ «Арктическая школа» Республики Саха (Якутия), 11-й класс

Григорьева Алина Сергеевна,

МОБУ «Гимназия «Центр глобального образования» ГО «город Якутск»,
9-й класс

Еремеева Светлана Евгеньевна,

МБНОУ «Октемский научно-образовательный центр имени М. Е. Николаева» МР «Хангаласский улус», 9-й класс

Иванова Камилла Геннадьевна,

ГАНОУ «Арктическая школа» Республики Саха (Якутия), 11-й класс

Кулдаветова Камила,

Школа г. Стамбул, Турция, 11-й класс

Лиханова Айыына Ивановна,

МБНОУ «Октемский научно-образовательный центр имени М. Е. Николаева» МР «Хангаласский улус», 9-й класс

Максимова Сайкуо Павловна,

МБНОУ «Октемский научно-образовательный центр имени М. Е. Николаева» МР «Хангаласский улус», 9-й класс

Минебаева Алина Тагировна,

МОБУ «Средняя общеобразовательная школа № 7» ГО «город Якутск»,
9-й класс

Романова Саргылана Юрьевна,

МОБУ «Национальная гимназия «Айыы Кыьата» ГО «город Якутск»,
9-й класс

Научный руководитель: **Данилов Игорь Альбертович**, младший научный сотрудник международной научно-исследовательской лаборатории «Лингвистическая экология Арктики» ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова»

Ключевые слова: лингвистика эмоций, эмоции, языки, якутский язык, русский язык, якутско-русское двуязычие

Keywords: emotion linguistics, emotions, languages, Yakut language, Russian language, Yakut-Russian bilingualism

Аннотация. Данное исследование проводится в рамках когнитивной лингвистики с фокусом на изучении взаимосвязи языка и эмоций. На основе анализа зарубежного и отечественного опыта и методологических подходов к изучению взаимосвязи языка и эмоций исследовательским коллективом разработаны три экспериментальные методики, которые были апробированы в рамках реализации проекта «Лингвистика эмоций: как билингвизм влияет на эмоции?». Респондентами выступили участники Международной исследовательской школы — 2023. Исследование позволило сделать вывод, что билингвизм оказывает влияние на восприятие эмоций и их вербализацию. Результаты указывают на то, что эмоции радости легче выражаются на якутском языке, в то время как негативные эмоции, такие как печаль и страх, чаще описываются на русском языке. Выявлено, что для описания положительных и отрицательных эмоций на разных языках использовались слова с разной степенью экспрессивности и эмоциональной окраски. Установлено, что люди, свободно говорящие на двух и более языках, быстрее обрабатывают эмоциональную информацию. Перспективы продолжения исследования включают в себя уточнение методологических подходов, расширение базы для проведения экспериментов и включение различных возрастных групп для более полного понимания влияния билингвизма на восприятие и выражение эмоций.

Abstract. This research is conducted within the framework of cognitive linguistics, focusing on the study of the relationship between language and emotions. Based on the analysis of foreign and domestic experience and methodological approaches to the study of the relationship between language and emotions, the research team developed three experimental methods, which were tested in the framework of the project «Linguistics of emotions:

how does bilingualism affect emotions?”. The respondents were the participants of the International Research School 2023. The study concluded that bilingualism influences the perception of emotions and their verbalization. The results indicate that emotions of joy are more easily expressed in Yakut language, while negative emotions such as sadness and fear are more often described in Russian. It was revealed that words with different degrees of expressiveness and emotional colouring were used to describe positive and negative emotions in different languages. It was found that people fluent in two or more languages process emotional information faster. Prospects for the continuation of the study include refining methodological approaches, expanding the base for conducting experiments and including different age groups to better understand the impact of bilingualism on the perception and expression of emotions.

Билингвизм, будучи явлением, при котором человек владеет двумя или более языками, представляет собой интересную сферу исследования для понимания того, как языки могут влиять на выражение и восприятие эмоций.

Исследования показывают, что билингвальные люди могут выражать и воспринимать эмоции по-разному в зависимости от используемого языка. Это утверждение нашло подтверждение в трудах таких известных исследователей, как Жан-Марк Девель [2], Белинда Майя, Диана Сантос [4] и др. Они провели исследования, которые доказывают, что язык, на котором билингвальный человек говорит, может влиять на способность выражать и воспринимать эмоции.

В связи с этим гипотезой данного исследования явилось предположение о том, что у человека, владеющего якутским и русским языками, восприятие и выражение эмоций могут различаться при их вербализации на каждом из языков. В якутском и русском языках ввиду их различий в генетическом, структурном, функциональном и других аспектах, могут быть различные способы выражения эмоций, что делает исследование влияния билингвизма на данном материале еще более интересным и важным для понимания межкультурных аспектов выражения и восприятия эмоций.

Кроме того, анализируя влияние билингвизма на эмоции, можно понять, каким образом знание двух или нескольких языков формирует специфические психологические и когнитивные особенности

говорящего. У билингвов наблюдаются особенности в переработке информации и восприятии мира, что автоматически влияет на их способность выражать и воспринимать эмоции [1].

Наше исследование проводится в рамках когнитивной лингвистики с фокусом на изучении взаимосвязи языка и эмоций. Исследовательским коллективом изучена научная литература по теме исследования. На основе анализа зарубежного и отечественного опыта и методологических подходов к изучению взаимосвязи языка и эмоций нами разработаны три экспериментальные методики, которые были апробированы в рамках реализации проекта «Лингвистика эмоций: как билингвизм влияет на эмоции?». Респондентами выступили участники Международной исследовательской школы — 2023.

Первая методика основана на гипотезе о том, что билингвы при использовании эмотивных слов будут проявлять большую экспрессивность как на родном, так и на русском языке. В качестве стимульного материала для этой методики были взяты фотографии, предложенные для изучения эмоций известным психологом Полом Экманом [3]. Ученым были выделены семь базовых эмоций, для обозначения которых им предложены синонимические ряды. Эти слова были переведены на якутский язык, и респондентам давалась возможность пройти тест как на якутском, так и на русском языке.

Результаты показали, что для описания положительных эмоций как на якутском, так и на русском языке преимущественно используются нейтральные в эмоционально-экспрессивном отношении слова, а для описания отрицательных эмоций на русском языке чаще применяются стилистически нейтральные слова. По отношению к якутскому языку наблюдается следующее: респонденты выбирают эмотивные слова не по их значению или стилистической окраске, а по принципу, знакомы ли они им и употребляются ли они в повседневной речи. Установлено, что многие якутские слова билингвам школьного возраста не известны.

Вторая методика была направлена на анализ ассоциаций к песням, вызывающим определенные эмоции и чувства. В основе исследования лежит предположение о том, что в качестве ассоциаций будут преимущественно приведены эмотивы на русском языке. Для его проверки были подобраны три песни с разной эмоциональной тональностью. После прослушивания каждой песни респонденты

должны были дать свободные ассоциации на любом языке. Всего в исследовании приняли участие 36 школьников, объем эмпирического аудиоматериала составил 96 минут.

На первый стимульный материал было получено 69 реакций, из них 18 реакций были из числа эмотивной лексики, большая их часть представлена русскими лексическими единицами. Из 36 респондентов только 5 человек смогли привести в качестве ассоциаций эмотивные слова на якутском языке. Нужно отметить, что они обучаются в сельской школе.

На вторую песню было получено 65 реакций. По сравнению с реакциями на предыдущий стимульный материал в качестве ассоциаций к этой песне названо наименьшее количество эмотивных слов. Одним респондентом из сельской выборки был назван один эмотив на якутском языке.

На третий стимул получено наибольшее количество свободных реакций — 75, из них 13 относятся к числу эмотивной лексики, и все они представлены только русскими словами.

Анализ результатов показал, что респондентами преимущественно приводились эмотивы на русском языке, при этом даже респонденты из сельской местности реже использовали эмотивные слова на якутском языке.

Третья методика была основана на предположении о том, что восприятие видеоматериала с эмоциональной нагрузкой и более четкое выражение этого восприятия будет основано на использовании русского языка. Были подобраны отрывки из трех фильмов на якутском, русском и английском языках, после просмотра каждого фрагмента респонденты описывали свои ощущения сначала на якутском, затем на русском языке. В исследовании приняли участие 46 человек, объем записанного аудиоматериала составил 87 минут.

Для описания своих эмоций после просмотра драматического момента из якутского фильма «Айта» на якутском и русском языках респонденты используют соответствующие эмоциям слова. При этом замечено, что респонденты воспринимают этот фильм близко к сердцу, поэтому они описывают не только эмоции главных героев, но и свои внутренние ощущения, чего не было замечено позже. В структуре якутских ответов, в частности в составе эмотивов, встречаются русские слова.

После просмотра комедийного фильма «Эта замечательная жизнь» на английском языке в своих ответах участники эксперимента часто приводили эмотивные слова как на якутском, так и на русском языке. Интересно заметить, что эмоции радости респонденты легче выражают на якутском языке, а для описания негативных эмоций — эмоций печали и страха — применяется преимущественно русский язык, а в якутских ответах встречаются лексические интерференции из русского языка.

Реакции на последний трагический момент из фильма «Хэллоуин убивает» показали, что при описании эмоций страха респонденты часто переходят с якутского языка на русский. Подобное переключение кодов не было замечено при описании первых двух фрагментов фильмов. Поэтому можно предположить, что эмоции страха удобнее описывать на русском языке.

В целом данное исследование позволило сделать вывод о том, что билингвизм оказывает влияние на восприятие эмоций и их вербализацию. Так, результаты указывают на то, что эмоции радости легче выражаются на якутском языке, в то время как негативные эмоции, такие как печаль и страх, чаще описываются на русском языке. Очевидно, что при восприятии и выражении различных эмоций билингвальные люди могут предпочитать тот язык, который им кажется более подходящим для передачи конкретного состояния.

Кроме того, интересно отметить, что переключение языков в описании эмоций возникает особенно часто в случае вербализации страха и в трагических ситуациях, что может свидетельствовать о том, что некоторые эмоции могут быть лучше выражены на одном языке, чем на другом. Это подчеркивает комплексность взаимодействия билингвизма и эмоций.

Вместе с тем тот факт, что для описания положительных и отрицательных эмоций на разных языках использовались слова с разной степенью экспрессивности и эмоциональной окраски, указывает на то, что билингвы могут использовать языковые ресурсы на разных уровнях в зависимости от характера своих эмоций. А наблюдение о том, что при описании тех или иных эмоций респонденты часто переключались с якутского на русский язык, а также о том, что многие якутские слова не были известны билингвам школьного возраста, подчеркивает сложность встроженных куль-

турных и лингвистических факторов, влияющих на вербализацию эмоций.

Установлено, что люди, свободно говорящие на двух и более языках, быстрее обрабатывают эмоциональную информацию. Перспективы продолжения исследования включают в себя уточнение методологических подходов, расширение базы для проведения экспериментов и включение различных возрастных групп для более полного понимания влияния билингвизма на восприятие и выражение эмоций.

Список литературы

1. Costa A., Sebastián-Gallés N. How does the bilingual experience sculpt the brain? // *Nature reviews neuroscience*.— 2014. — Т. 15.— № 5. — С. 336–345.
2. Dewaele J. M. *Emotions in multiple languages*. — Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2010.
3. Ekman P. et al. Basic emotions // *Handbook of cognition and emotion*.— 1999. — Т. 98.— № 45–60. — С. 16.
4. Maia B., Santos D. Language, emotion, and the emotions: The multidisciplinary and linguistic background // *Language and Linguistics compass*.— 2018. — Т. 12.— № 6. — С. e12280.

РАЗРАБОТКА АНТРОПОМОРФНОГО МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ КОЛЕСНОГО ВЕЗДЕХОДА

DEVELOPMENT OF AN ANTHROPOMORPHIC MANIPULATOR FOR A WHEELED ALL-TERRAIN VEHICLE

Оконешникова Анджела Андреевна,

ГБНОУ РС (Я) «Республиканский лицей-интернат», 11-й класс

Семенов Иван Васильевич,

МБОУ «Сунтарский политехнический лицей-интернат» МР
«Сунтарский улус (район)», 9-й класс

Назаралиев Николай Фархатович,

МБНОУ «Октемский научно-образовательный центр имени М. Е.
Николаева» МР «Хангаласский улус», 9-й класс

Трофимова Амалия Дмитриевна,

МБОУ «2 Мальжагарская СОШ имени М. Е. Васильевой» МР
«Хангаласский улус», 9-й класс

Сосина Элина Евгеньевна,

МБОУ «Вилюйская гимназия им. И. Л. Кондакова» МР «Вилюйский
улус (район)», 9-й класс

Иннокентьев Сергей Егорович,

МБОУ «Югюлятская СОШ имени И. В. Яковлева» МР «Вилюйский
улус (район)», 9-й класс

Научные руководители:

Илларионов Тимур Андреевич, Афанасьев Айсен Александрович,

студенты Института математики и информатики ФГАОУ ВО
«Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова».

Ключевые слова: марсоход, манипулятор, конструктор, робот,
робот-манипулятор, вездеход, perseverance

Keywords: rover, manipulator, constructor, robot, robot manipulator,
all-terrain vehicle, perseverance

Аннотация. Исследование описывает разработку и изготовление руки-манипулятора для подвижной модели марсохода *Perseverance*. Авторами были выполнены следующие задачи: ознакомление с основами робототехники, проектирование руки-манипулятора в САПР, изготовление и примерка прототипа на марсоходе, разработка алгоритма управления рукой-манипулятором, а также проведение испытаний.

Abstract. *The study describes the development and manufacture of a manipulator arm for a mobile model of the Perseverance rover. The authors performed the following tasks: familiarization with the basics of robotics, designing a manipulator arm in CAD, manufacturing and fitting a prototype on a rover, developing an algorithm for controlling a manipulator arm, as well as conducting tests.*

1. Введение

Антропоморфные манипуляторы — это тип промышленных роботов. Такие роботы выполняют функции человеческой руки. Они выполнены по схеме, включающей плечо, предплечье и кисть. Роботы могут распознавать, понимать и менять окружающую среду. Их сфера деятельности каждый год расширяется. Внедряются новые программы, роботы могут выполнять всё более точные действия: собирать автомобили, сортировать мусор и многое другое, что облегчает жизнь людей.

Цель проекта — разработать антропоморфный манипулятор для колесного вездехода.

2. Модель марсохода

Марсоход *Perseverance* — это аппарат для исследования Марса, разработанный и отправленный командой НАСА. Он был запущен 30 июля 2020 года и успешно приземлился на Марсе 18 февраля 2021 года. Главная цель миссии *Perseverance* — исследование геологического прошлого Марса, поиск следов прошлой жизни и сбор образцов грунта для дальнейшего изучения на Земле.

Модель марсохода *Perseverance*, созданная для обучения, предназначена для учебных и научно-исследовательских целей. Она позво-

ляет студентам и исследователям более подробно изучить конструкцию и функционал марсохода, а также разработать и протестировать алгоритмы управления и программирования, которые могут быть применены на реальном марсоходе. Модель также способствует распространению знаний о космических миссиях и возможностях исследования Марса среди широкой аудитории.

Размеры данной подвижной модели марсохода Perseverance составляют $800 \times 700 \times 650$ мм. Масштаб модели составляет 1:4, что позволяет воссоздать марсоход в уменьшенном виде. Его масса составляет около 10,5 кг. Марсоход оборудован подвеской типа Rocker-Boogie и имеет 6 ведущих колес, из них 4 поворотных. Максимальная скорость передвижения составляет 3 км/ч. Эти особенности обеспечивают эффективное и надежное передвижение по поверхности Марса.

Дополнительные функции:

- поворотная FPV-камера, трансляция в реальном времени;
- управление с радиопульты, с телефона, с бортового МК;
- рука-манипулятор с шестью степенями свободы и сменными наконечниками;
- возможность автономной работы, без внешнего управления;
- БКУ: ATmega2560 @ 16 МГц, 256 КБ Flash, 8 КБ SRAM;
- СЭП: до 50 Вт, для полезных нагрузок доступно 10 Вт.



Рис. 1. Модель марсохода

3. Рука-манипулятор

Рука-манипулятор, также известная как роботическая рука, или манипулятор, является механическим устройством, созданным для выполнения различных задач. Она используется в различных областях, включая производство, медицину, науку, космические исследования.

Роботическая рука имеет несколько суставов, что позволяет ей имитировать движения настоящей человеческой руки. Каждый сустав контролируется приводом или механизмом, который позволяет изменять углы и положения руки. Это позволяет манипулятору быть гибким и адаптирующимся для выполнения различных задач в зависимости от потребностей. Для управления рукой-манипулятором обычно применяются специальные алгоритмы, датчики и контроллеры. Некоторые руки-манипуляторы могут управляться оператором через специальный интерфейс, а другие могут быть автономными и выполнять предварительно запрограммированные задачи.

4. Конструкция

Конструкция руки-манипулятора выполнена в виде многозвеной системы, напоминающей структуру человеческой руки. Рука

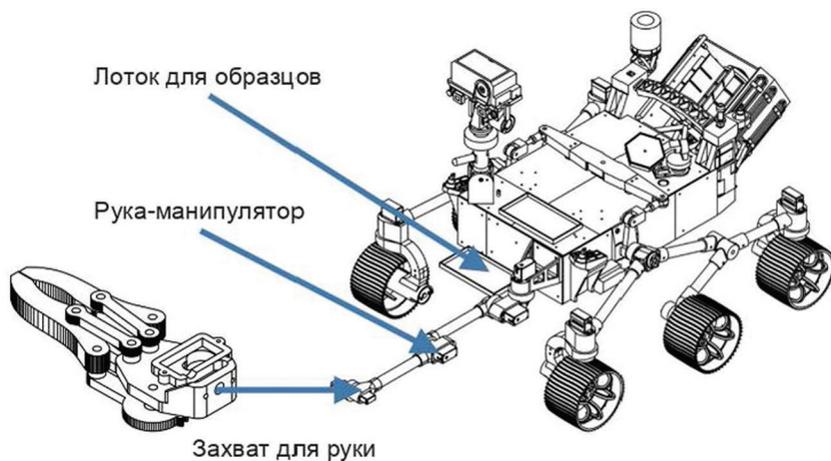


Рис. 2. Система сбора образцов

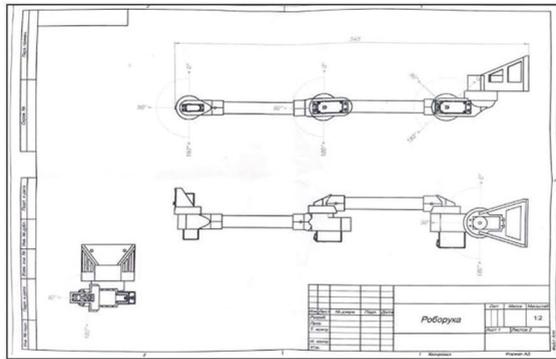


Рис. 3. Чертеж роборуки

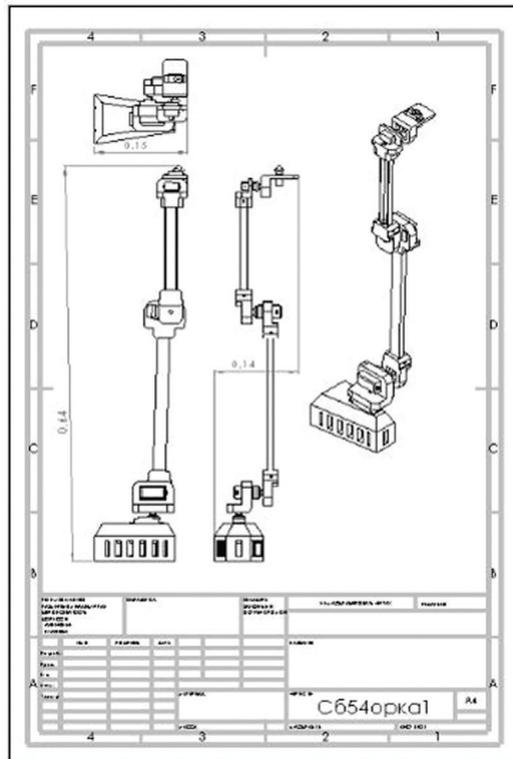


Рис. 4. Чертеж роборуки 2

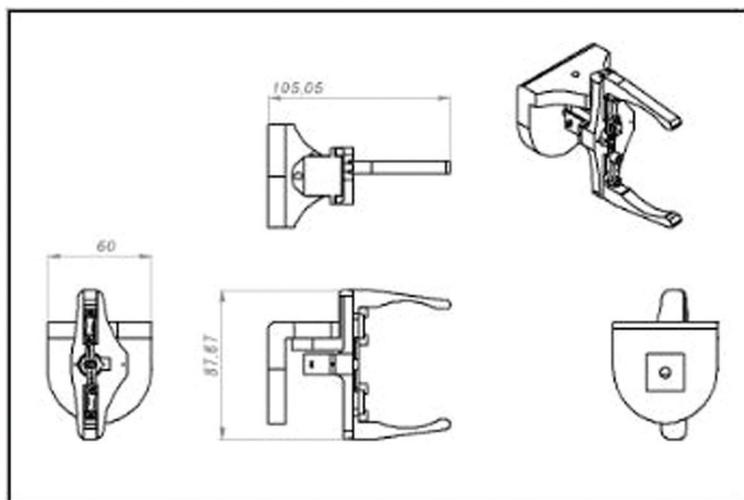


Рис. 5. Чертеж захвата

состоит из нескольких основных частей: основания, «плеча», «предплечья», «запястья» и захватного устройства.

Основание (крепление к телу робота). В основании предусмотрены механизмы для крепления к телу робота. Это может быть выполнено в виде вращающегося сочленения или фланца, обеспечивающего поворот всей конструкции руки относительно корпуса робота.

Плечо. Первый сегмент после основания — «плечо», которое обеспечивает основное движение руки в вертикальной плоскости. Оно может содержать один или несколько суставов с электромеханическими приводами для перемещения.

Предплечье. «Предплечье» соединено с «плечом» через сустав, позволяющий изгибать руку в локте. Этот сегмент обеспечивает дополнительную гибкость и точность в движениях.

Запястье. В «запястье» руки обычно встроены механизмы для поворота захвата, что дает возможность манипулировать объектами с разной направленностью в пространстве.

Захватное устройство. На конце «запястья» расположен механизм захвата, который может быть выполнен в виде клешни, пальцев или иного механизма, позволяющего захватывать, удерживать и манипулировать объектами различных форм и размеров.

5. Разработка и изготовление

В рамках проекта было выполнено комплексное задание по разработке антропоморфных манипуляторов для марсохода. Разработка включала в себя конструктивные требования и ограничения для установки на марсоход: максимальное количество сервоприводов — 6 штук; максимальное подобие реальной руке-манипулятору, установленной на марсоходе Perseverance; возможность смены «насадок» для увеличения универсальности манипулятора; максимальный пиковый ток потребления 4 А, ток потребления 2 А; установка манипулятора на передней панели модели марсохода. Работа включала в себя проектирование, изготовление и тестирование двух видов манипуляторов и захватных устройств.

5.1. Проектирование в САПР

Процесс разработки начинался с детального проектирования в среде САПР SolidWorks, что позволило виртуально моделировать и тестировать все возможности механизмов. При проектировании были учтены все необходимые параметры, в том числе размеры, диапазон движений и нагрузки. Использование SolidWorks обеспечило гибкость в модификации конструкций и точность в подгонке деталей.

5.2. Материалы и изготовление

Использование алюминиевого профиля и труб в качестве основных материалов обусловило легкость конструкции манипулятора при сохранении высокой прочности и надежности. Детали манипулятора были изготовлены с применением технологии 3D-печати, что позволило создать сложные геометрические формы и оптимизировать конструкцию захватов и соединительных элементов.

5.3. Типы манипуляторов и захватов

В ходе проекта были разработаны два типа манипуляторов: один с большей грузоподъемностью для тяжелых задач, второй — более

гибкий и точный для мелких манипуляций. Каждый манипулятор оснащался двумя видами захватов.

5.4. Техническая документация

Для каждого элемента манипуляторов были подготовлены чертежи, отражающие все ключевые характеристики и размеры, необходимые для изготовления и сборки. Чертежи были выполнены в соответствии с нормами и стандартами инженерной графики, что обеспечило точность и четкость исполнения.

6. Проведение испытаний

6.1. Методология испытаний

Для оценки эффективности и надежности руки-манипулятора был разработан комплекс испытаний. Испытания включали в себя:

- тестирование механической прочности: проверку всех суставов и соединений руки на способность выдерживать нагрузки, которые возможны при эксплуатации механизма в условиях марсианской поверхности;
- тестирование датчиков и приводов: проверку чувствительности и точности датчиков, а также эффективности приводов в различных температурных и вибрационных условиях;
- проверку алгоритмов управления: тестирование программного обеспечения руки-манипулятора в различных сценариях, включая автоматический захват, манипуляции с объектами разной формы и размеров.

6.2. Результаты испытаний

Результаты испытаний показали умеренную надежность и точность работы руки-манипулятора. Были выявлены некоторые области для улучшения, включая:

- усовершенствование датчиков: установку дополнительных камер и датчиков давления для повышения точности захвата и манипуляций с мелкими объектами;

- оптимизацию алгоритмов управления для обеспечения более плавной и точной работы руки, также для увеличения времени автономной работы;
- усовершенствование материалов для облегчения манипулятора, что снизит нагрузку на двигатели и позволит поднимать более тяжелые грузы;
- увеличение жесткости конструкции.

7. Применение и перспективы развития

7.1. Возможные области применения

Рука-манипулятор, разработанная для модели марсохода Perseverance, может найти применение в различных областях, включая:

- космические исследования: использование в будущих миссиях на Марс и другие планеты;
- промышленность: применение в сложных и опасных для человека условиях;
- медицина: использование для проведения сложных операций и манипуляций.

7.2. Перспективы развития

Разработка антропоморфных манипуляторов открывает новые возможности для исследования и использования роботов. Среди перспективных направлений:

- интеграция искусственного интеллекта: разработка более умных и самостоятельных систем управления;
- миниатюризация: создание более компактных и эффективных роботизированных систем;
- улучшение интерфейса пользователя: разработка более интуитивных и удобных способов управления манипуляторами.

Список литературы

1. Иванов А. А. Основы робототехники: учебное пособие / А. А. Иванов.— 2-е изд., испр. — Москва: ИНФРА-М, 2023.— 223 с.

-
2. Москвичев А. А. Захватные устройства промышленных роботов и манипуляторов: учебное пособие / А. А. Москвичев, А. Р. Кварталов, Б. В. Устинов. — Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2020.— 176 с.
 3. NASA. Perseverance Rover's Mars Mission [Электронный ресурс] // NASA. — Режим доступа: <https://mars.nasa.gov/mars2020/>, свободный. — Загл. с экрана.
 4. Борисенко Л. А. Теория механизмов, машин и манипуляторов: учебное пособие / Л. А. Борисенко. — Москва: ИНФРА-М, 2023.— 285 с.
 5. Стейпл, Д. Устройство и программирование автономных роботов. Проекты на Python и Raspberry Pi: практическое руководство / Д. Стейпл; пер. с англ. Е. В. Шевчук; науч. ред. В. С. Яценков. — Москва: ДМК Пресс, 2022.— 520 с.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ ЦЕННОСТИ РАСТЕНИЙ ПО ИХ ЛИПИДНОМУ И ЖИРНОКИСЛОТНОМУ ПРОФИЛЮ

COMPARATIVE STUDY OF THE NUTRITIONAL VALUE OF PLANTS BY THEIR LIPID AND FATTY ACID PROFILE

Федорова Диана Ивановна,

МБНОУ «Октемский научно-образовательный центр» МР «Хангаласский улус», 11-й класс

Строева Карина Ильинична,

МБНОУ «Октемский научно-образовательный центр» МР «Хангаласский улус», 11-й класс

Федотов Петр Кэскилович,

МОБУ «Саха гимназия» ГО «город Якутск», 11-й класс

Колесов Ярослав Егорович,

ГБНОУ РС(Я) «Республиканский лицей-интернат», 11-й класс

Лаптева Милана Виталиевна,

ГАНОУ «Арктическая школа» Республики Саха (Якутия), 10-й класс

Матвеева Эдита Михайловна,

МБОУ «Чакырская СОШ» МР «Амгинский улус (район)», 10-й класс

Соловьева Анастасия Николаевна,

МБОУ «Майинский лицей им. И. Г. Тимофеева» МР «Мегино-Кангаласский улус», 10-й класс

Федоров Эрэл Алексеевич,

МБОУ «Анабарская улусная гимназия» МР «Анабарский национальный (долгано-эвенкийский) улус (район)», 10-й класс

Степанова Анна Георгиевна,

МОБУ «Технический лицей Н. А. Алексеевой» ГО «город Якутск», 9-й класс

Научный руководитель: **Нохсоров Василий Васильевич**,
к. б. н., с. н. с. Института биологических проблем криолитозоны
ЯНЦ СО РАН

Соруководитель: **Стручков Данил Андреевич**,
студент 4-го курса группы БА-Х-20 ИЕН СВФУ.

Ключевые слова: липиды, жирные кислоты, клеточные мембраны, электронная микроскопия, газовая хроматография (ГХ-ПИД), высокоэффективная тонкослойная хроматография (ВЭТСХ), денситометрия, биохимия растений.

Keywords: lipids, fatty acids, cell membranes, electron microscopy, gas chromatography (GC-FID), high performance thin layer chromatography (HPTLC), densitometry, plant biochemistry.

Аннотация. В данной работе приведены результаты изучения липидного и жирнокислотного состава некоторых растений, произрастающих в окрестностях с. Октемцы, Республика Саха (Якутия), Россия. С помощью высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭТСХ) удалось выделить из липидного экстракта фракции нейтральных и полярных (фосфо- и гликолипиды) липидов, жирнокислотный (ЖК) профиль липидов был проведен с помощью газовой хроматографии (ГХ-ПИД), также проведена электронная микроскопия поверхностных тканей изученных растений.

Abstract. This paper presents the results of studying the lipid and fatty acid composition of some plants growing in the vicinity of the village. Oktemtsy, Republic of Sakha (Yakutia), Russia. Using high-performance thin-layer chromatography (HPTLC), it was possible to separate fractions of neutral and polar (phospho- and glycolipids) lipids from the lipid extract, the fatty acid (FA) profile of lipids was carried out using gas chromatography (GC-FID), and electron microscopy of the surface tissues of the studied tissues was also carried out plants.

Введение

Основные химические вещества, от которых зависит кормовая ценность трав, — это легкоусвояемые формы углеводов, белки и растительные липиды. Общеизвестно, что липиды растений — важнейший пищевой компонент рациона человека и животных, обес-

печивающий значительную часть энергетических потребностей их организмов и служащий источником незаменимых жирных кислот, таких как линолевая C18:2n-6 (ЛК) и альфа-линоленовая C18:3n-3 (АЛК) кислоты [1; 2]. Несмотря на относительную изученность биохимических процессов, обеспечивающих адаптивные изменения липидного состава мембран отдельных видов культурных растений, вопросы липидного метаболизма растений в связи с их устойчивостью к низким температурам изучены далеко не полностью. Этим объясняется интерес к подробному изучению механизмов низкотемпературной адаптации у растений, произрастающих в суровых климатических условиях, в том числе в Якутии. Этот интерес вызван как возможностью выявления физиолого-биохимических механизмов адаптации растений, так и необходимостью решения ресурсоэкономических и селекционных задач. Известно, что количественный и качественный состав липидов и жирных кислот как основных структурных компонентов растительных мембран играет важную роль в адаптивном ответе растительного организма на стрессовое воздействие любой природы [3]. Сравнительный анализ таких данных мог бы оказаться полезным для понимания путей адаптации растений к неблагоприятным условиям внешней среды и особенностей биосинтеза жирных кислот у травянистых растений.

Материалы и методы исследования

Образцами для анализа липидного и ЖК-состава служили различные органы и ткани следующих растений: вероника седая (*Veronica incana* L.), герань луговая (*Geranium pratense* L.), овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), эдельвейс скупенный (*Leontopodium conglobatum* (Turcz.) Hand.-Mazz.).

Выделение и анализ липидов. Для экстракции липидов навеску свежего растительного материала (0,5 г) растирали в 10–20 мл смеси хлороформа и метанола (1:2 v/v), тщательно перемешивали и оставляли на 30 мин до полной диффузии липидов в растворитель [1]. Количественно переносили раствор в делительную воронку через фильтр, трижды промывая ступку и фильтр той же смесью растворителей. Для лучшего расслаивания добавляли воду. Для анализа сум-

марных липидов отделяли нижнюю хлороформную фракцию. Хлороформ из липидного экстракта удаляли под вакуумом с помощью роторного испарителя IKA RV 10 auto pro xV (Germany). Фракции липидов (нейтральных и полярных) разделяли из общего экстракта методом ВЭТСХ на пластинках Sorbfil (ИМИД, Россия). Метилловые эфиры ЖК (МЭЖК) получали по методу Кристи [4]. Анализ МЭЖК проводили методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором GC-FID Clarus 590 (PerkinElmer, США) с использованием капиллярной колонки Elite 2330 (60 м × 0,25 мм) (Restek, США). Условия анализа были следующими: скорость газа-носителя (водорода) 30 мл/мин; температуру термостата программировали от 80 до 220 °С со скоростью 80 °С/мин в течение 4 мин изотермически, затем до 130 °С со скоростью 15 °С/мин, затем до 170 °С со скоростью 6 °С/мин в течение 14 мин изотермически и до 220 °С со скоростью 2,5 °С/мин в течение 7 мин изотермически; температура пламенно-ионизационного детектора составляла 250 °С, испарителя — 220 °С. Продолжительность хроматографического курса составляла 55 мин. Относительное содержание ЖК определяли методом внутренней нормализации — в весовых процентах (% вес.) от общего их содержания в исследуемом образце с учетом коэффициента отклика ЖК. Абсолютное содержание и идентификацию ЖК проводили с помощью сравнения хроматографических подвижностей со стандартными ЖК (Restek 37 Component, FAME MIX NLEA, США).

Электронную микроскопию поверхностных тканей изученных растений проводили с помощью Hitachi TM4000 tabletop microscope (Japan). Перед микроскопией ткани растений были обезвожены погружением в 100-процентный этанол.

Результаты и обсуждение

В результате выделения нейтральных липидов из общего липидного экстракта с помощью ВЭТСХ (рис. 1) удалось идентифицировать следующие классы липидов: 1,2-диглицериды (1,2-DAG), стерины (Sterols), триацилглицерины (TAG), свободные жирные кислоты (FFA), эфиры стеринов (SE), сквален (Sq) и воска (Wax). Среди полярных липидов были идентифицированы следующие классы липидов: фосфатидилсерины (PS), фосфатидилинозиты (PI), фосфатидилхо-

лины (PC), фосфатидилглицерины (PG) с дифосфатидилглицеринами (DPG), фосфатидилэтаноламинами (PE), дигалактозилдиглицериды (DGDG), моногалактозилдиглицериды (MGDG), гликоцерамиды (GlCer 1,2) и фракция пигментов (Pigments) (рис. 1). Судя по хроматограмме, преобладали фракции нейтральных липидов: стерины и их эфиры и ТАГ. Наиболее высокое содержание этих компонентов было зафиксировано в листьях овсяницы и в растительном сырье из вероники. Среди полярных липидов преобладали ДГДГ. Наибольшее

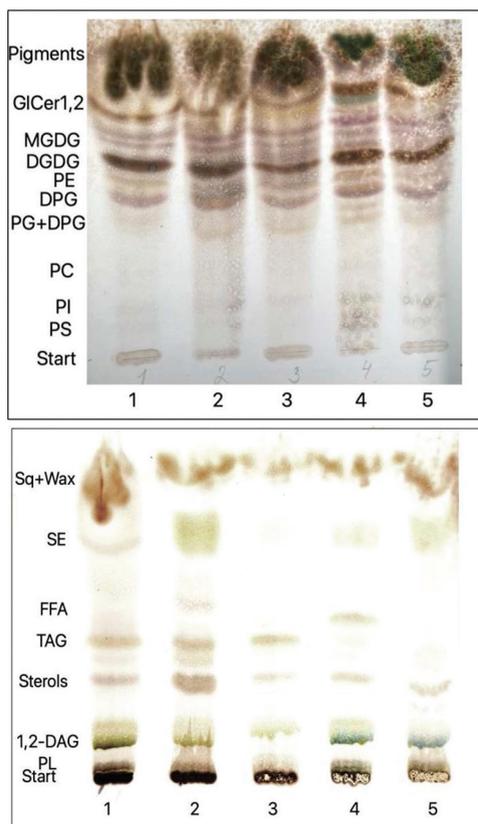


Рис. 1. ТСХ-разделение нейтральных и полярных липидов:
 1) листья овсяницы; 2) растительное сырье из вероники;
 3) растительное сырье из тысячелистника; 4) листья герани;
 5) растительное сырье из эдельвейса

содержание ДГДГ было выявлено в листьях герани луговой, а наименьший уровень этого липидного компонента нами выявлен в растительном сырье из тысячелистника обыкновенного.

Гравиметрическим методом было определено содержание суммарных липидов в пересчете на грамм сырой массы изученных растений. Анализ показал следующее: наиболее высокое содержание суммарных липидов было в растительном сырье из тысячелистника и герани; так, содержание превышало 60 мг на 1 г сырой массы. Не превышало 25 мг/г сырой массы содержание суммарных липидов у овсяницы, вероники и эдельвейса (рис. 2). С помощью ГХ-ПИД удалось выяснить абсолютное содержание ЖК в тканях изученных видов растений (рис. 3). Наиболее высокое содержание МЭЖК было выявлено у овсяницы, это объясняется тем, что данный вид относится к злаковым видам растений. Наименьшее содержание МЭЖК было зафиксировано в тканях эдельвейса скученного. Сравнительный анализ показал, что в тканях лекарственных видов растений, таких как вероника седая, тысячелистник обыкновенный и герань луговая, абсолютное содержание МЭЖК достоверно не различалось между собой. Аналогичные результаты были получены при изучении химического состава вероники седой [5].

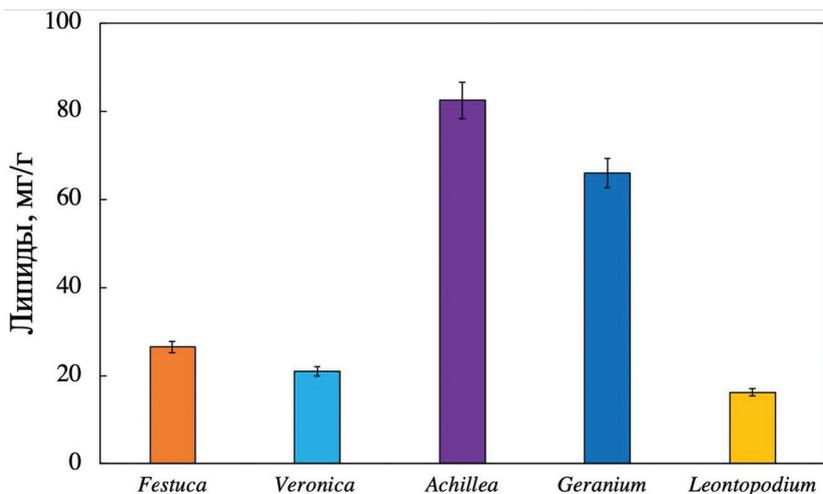


Рис. 2. Содержание липидов в тканях некоторых растений Якутии

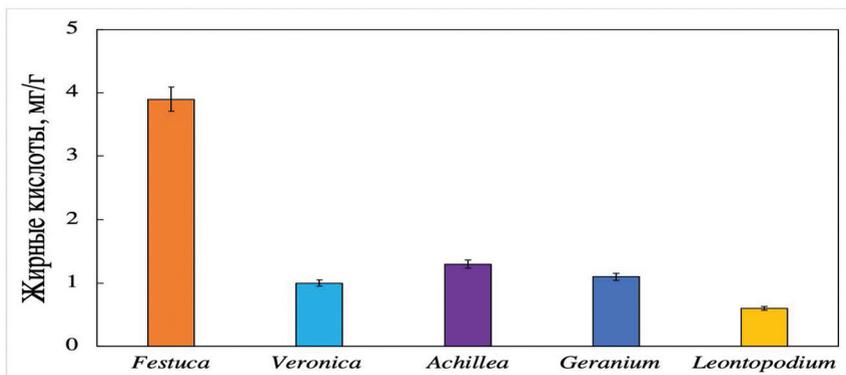


Рис. 3. Абсолютное содержание ЖК в тканях некоторых растений Якутии

Кроме абсолютного содержания МЭЖК было рассчитано относительное содержание насыщенных, ненасыщенных и полиненасыщенных ЖК в тканях некоторых растений, произрастающих в окрестностях с. Чапаево РС (Я) (таблица 1). В целом нужно отметить, что содержание ННЖК у большинства изученных видов растений преобладало над содержанием НЖК. Наиболее высокая разница была у эдельвейса, затем у герани и овсяницы. Эти показатели отразились и на содержании физиологически важных ЖК — полиненасыщенных ЖК. Наиболее высокое содержание ПНЖК было получено в тканях эдельвейса.

Таблица 1. Содержание (в % от суммы) насыщенных, ненасыщенных и полиненасыщенных ЖК в тканях изученных растений

Параметры	<i>Festuca</i>	<i>Veronica</i>	<i>Achillea</i>	<i>Geranium</i>	<i>Leontopodium</i>
*НЖК (%)	33,5	48,4	51	32,3	25,9
**ННЖК (%)	66,5	51,6	48,6	67,7	74,1
***ПНЖК (%)	62,5	47,6	43,4	63,7	70,8
n-6/n-3	0,22	0,48	0,63	0,58	0,24

Примечание: *НЖК — насыщенные ЖК; **ННЖК — ненасыщенные ЖК; ***ПНЖК — полиненасыщенные ЖК; (n-6/n-3) — отношение омега-6 к омега-3.

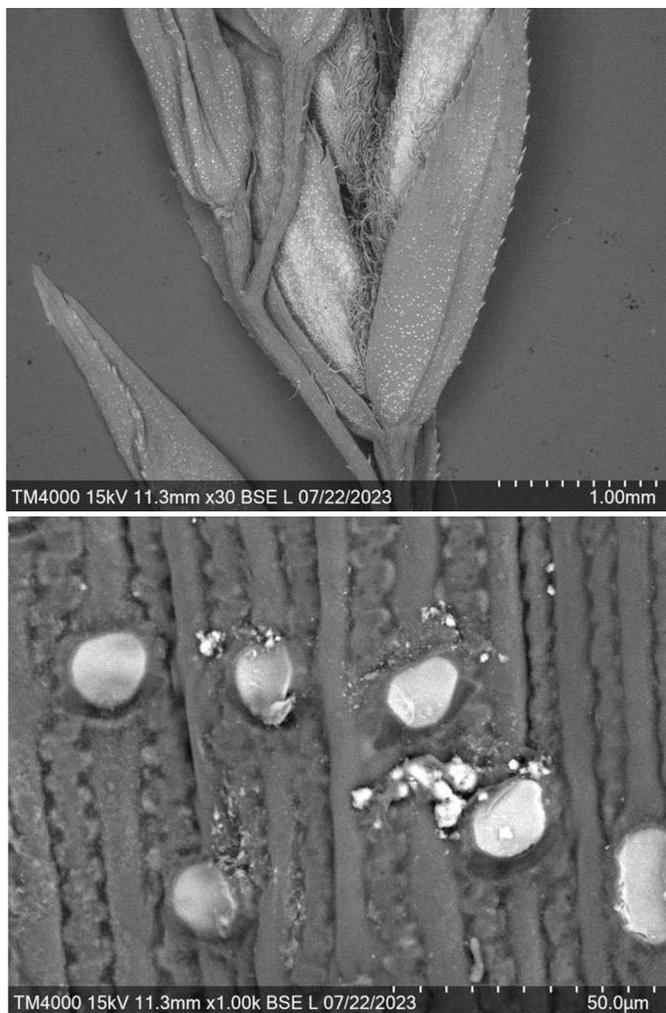


Рис. 4. Электронная микрофотография обезвоженных тканей овсяницы луговой

Электронная микроскопия тканей изученных растений (рис. 4, 5, 6, 7, 8) показала, что растения, произрастающие в мерзлотных экосистемах, адаптированы к суровым условиям произрастания на уровне морфологии. Отчетливо было видно, что ткани растений покрыты

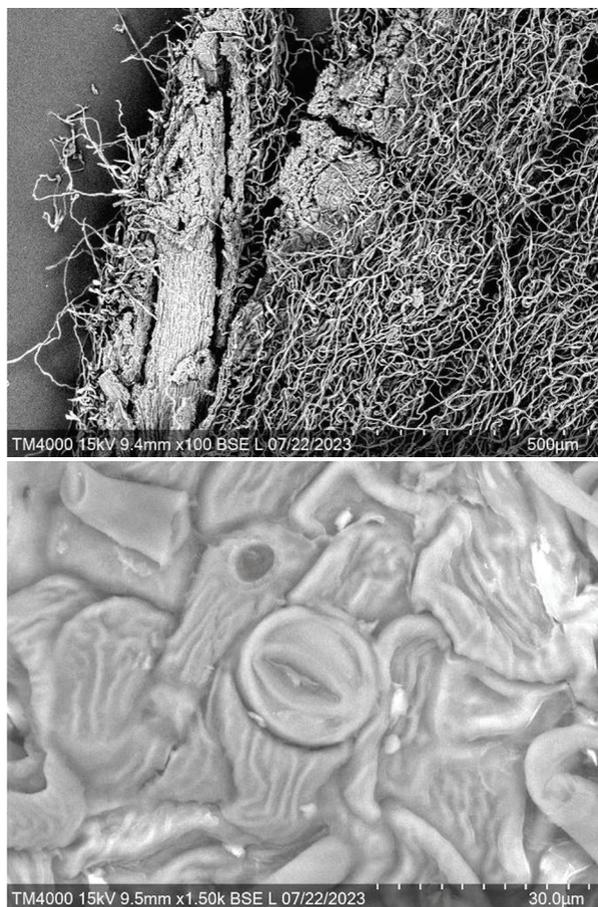


Рис. 5. Электронная микрофотография обезвоженных тканей вероники седой

трихомами. Трихомы выполняют разнообразные функции, которые до конца еще не исследованы. Принято считать, что они защищают физиологически ткань листа — хлоренхиму от перегрева, механически — всё растение от повреждения насекомыми и животными, способствуют уменьшению испарения влаги, выведению солей из тканей листа и осуществляют химическую защиту растений. Также мы заметили, что устьица были открыты, так как в момент взятия пробы было

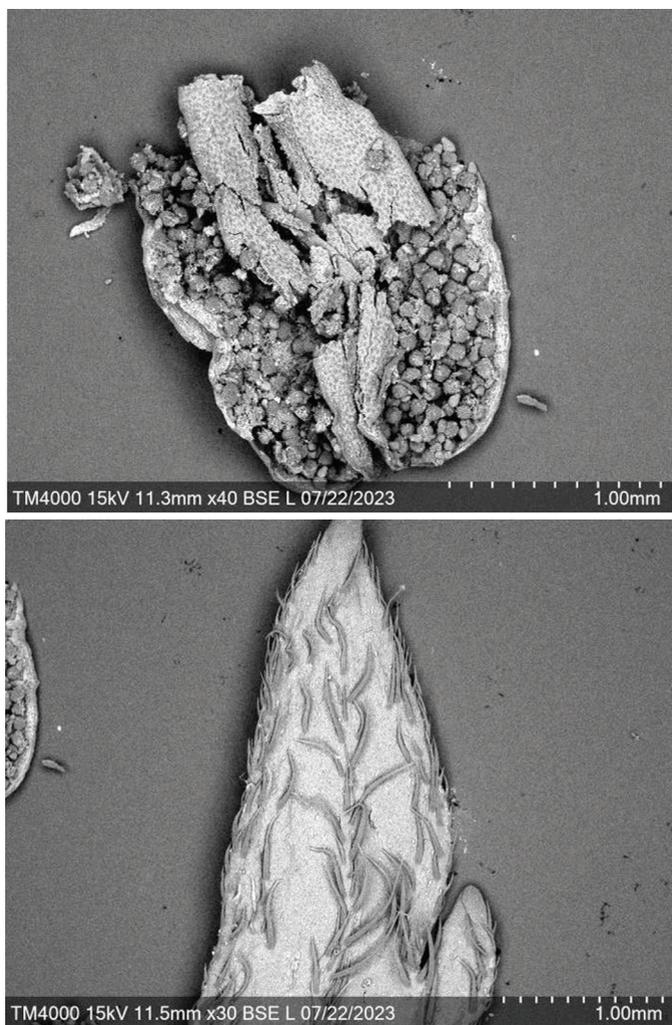


Рис. 6. Электронная микрофотография обезвоженных тканей герани луговой

солнечно и влажно (утро). Мы наблюдали и другие признаки, которые помогают нашим растениям произрастать в суровых условиях Якутии (клеточная стенка была обогащена клетчаткой, многосемянность для размножения (герань, овсяница) и расселение). Практически все ткани растений были покрыты грибами (белыми точками).

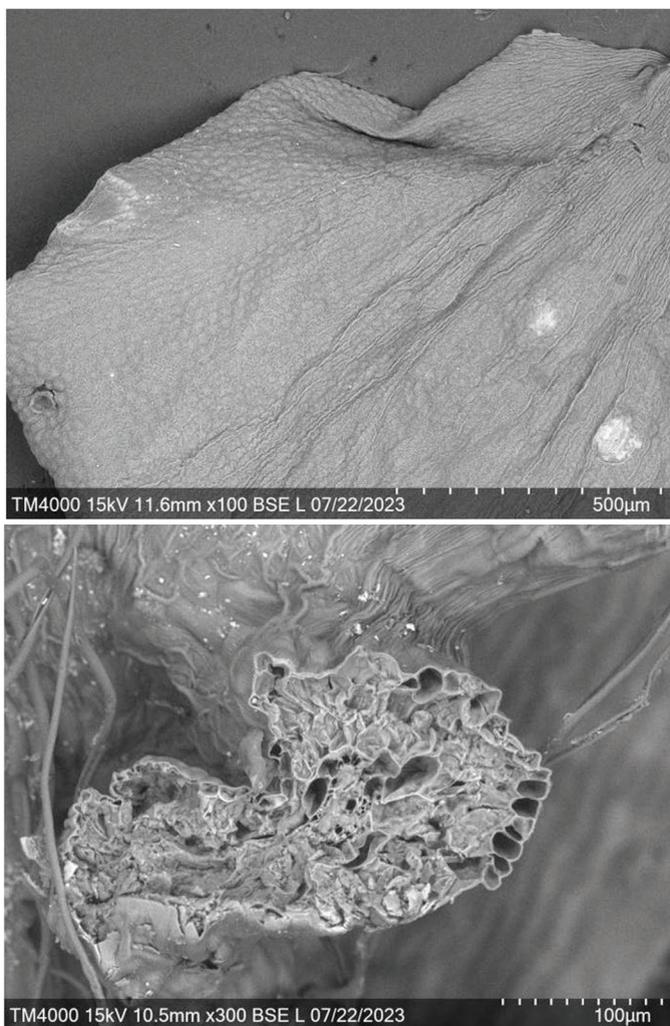


Рис. 7. Электронная микрофотография обезвоженных тканей тысячелистника обыкновенного

Анализ МЭЖК растений был проведен с помощью газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием. Полученные хроматограммы ЖК представлены на рисунках 9, 10, 11, 12, 13. Состав ЖК у изученных растений был в диапазоне от C6:0 до C24:1. Наиболее

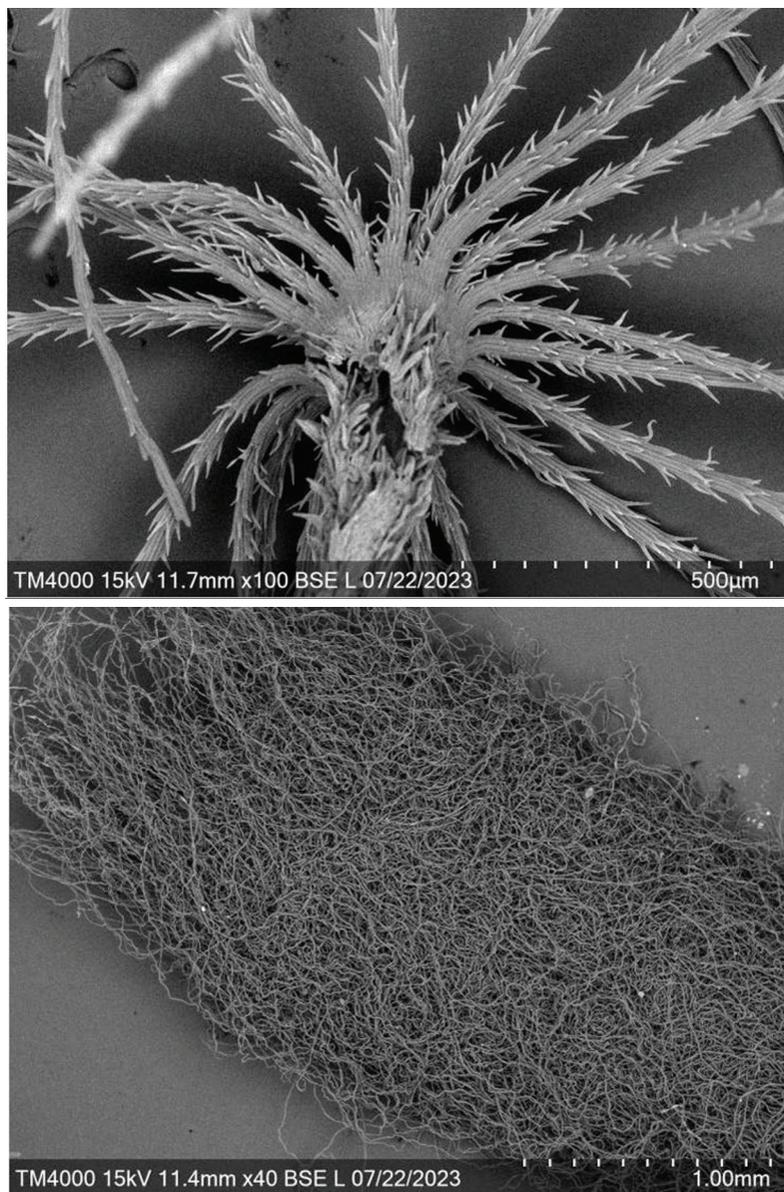


Рис. 8. Электронная микрофотография обезвоженных тканей эдельвейса скученного

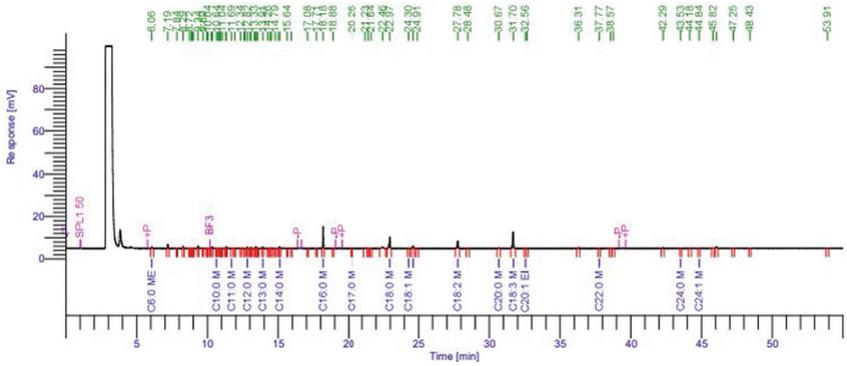


Рис. 9. Газовая хроматограмма МЭЖК тканей вероники седой

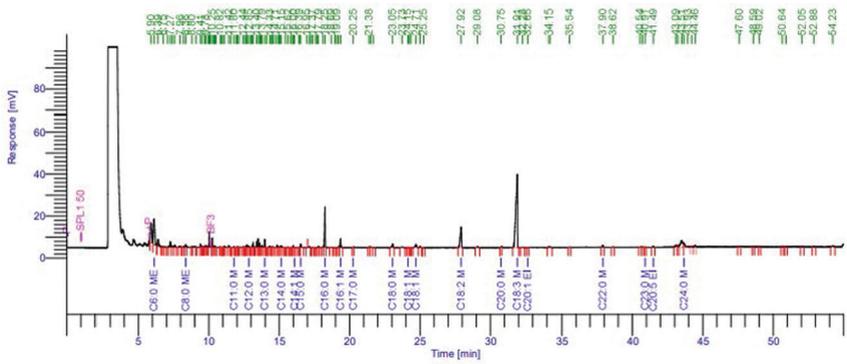


Рис. 10. Газовая хроматограмма МЭЖК тканей герани луговой

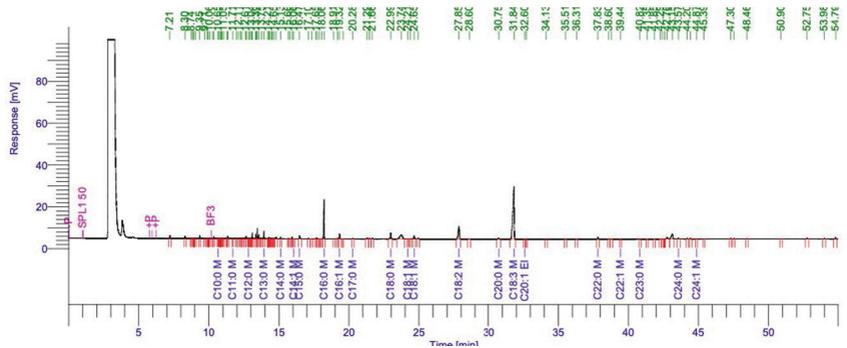


Рис. 11. Газовая хроматограмма МЭЖК тканей овсяницы луговой

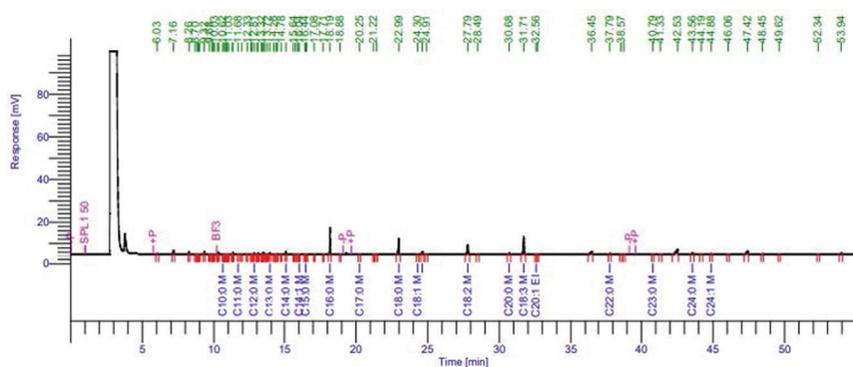


Рис. 12. Газовая хроматограмма МЭЖК тканей тысячелистника обыкновенного

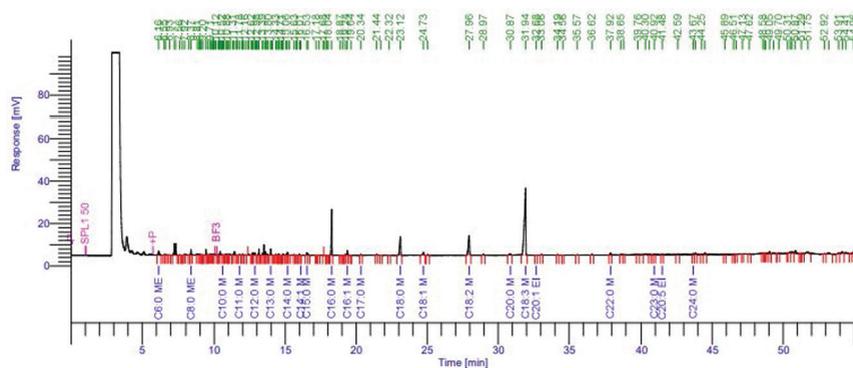


Рис. 13. Газовая хроматограмма МЭЖК тканей эдельвейса скученного

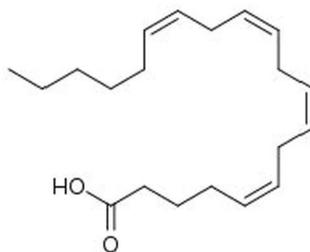


Рис. 14. Структурная формула арахидоновой кислоты C20:4n-6, обнаруженной в тканях эдельвейса скученного

интересной в результате изучения ЖК-профиля эдельвейса скученного была идентификация редкой для высших растений полиненасыщенной тетраеновой омега-6 жирной кислоты — арахидоновой C20:4n-6.

Заключение

1. Выявлено, что растительные липиды являются основными источниками незаменимых полиненасыщенных жирных кислот, таких как C18:2n-6 (ЛК) и C18:3n-3 (АЛК), которые обеспечивают энергией травоядных животных и человека.
2. С помощью физико-химических методов (ТСХ и ГХ) из пяти видов травянистых растений, произрастающих в окрестностях с. Чапаево, были выделены и идентифицированы липиды и жирные кислоты.
3. Установлено, что состав полярных липидов влияет на состояние клеточных мембран растений, а состав нейтральных липидов (ТАГ) — на питательную ценность растительного корма.
4. Полученные результаты показывают, что листья злака (овсяницы) являются наиболее ценным по содержанию ПНЖК и фитостеринов растительным кормом по сравнению с другими растениями. Такой растительный корм может вносить заметный вклад в энергию жизнедеятельности питающихся им домашних и диких животных Севера.

Вклад авторов

Все авторы внесли одинаковый вклад в работу.

Благодарности

Авторы выражают благодарность приборной базе ГАНОУ РЦ РС(Я) «Малая академия наук РС (Я)» за представленную возможность хроматографических и микроскопических исследований.

Список литературы

1. Sidorov R.A., Tsydendambaev V. D. Biosynthesis of fatty oils in higher plants. Russ J Plant Physiol 61, 1–18 (2014). <https://doi.org/10.1134/S1021443714010130>.

-
2. F. Glasser, M. Doreau, G. Maxin, R. Baumont. Fat and fatty acid content and composition of forages: A meta-analysis, *Animal Feed Science and Technology*, Volume 185, Issues 1–2, 2013, Pages 19–34, <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.06.010>.
 3. Cho W. K., Kim H. I., Kim S. Y., Seo H. H., Song J., Kim J., Shin D. S., Jo Y., Choi H., Lee J. H., Moh S. H. Anti-Aging Effects of *Leontopodium alpinum* (Edelweiss) Callus Culture Extract Through Transcriptome Profiling. *Genes (Basel)*. 2020 Feb 21;11(2):230. doi: 10.3390/genes11020230.
 4. Christie, W. W. The AOCS Lipid Library: Methyl Esters of Fatty Acids — Archive of Mass Spectra. Available online: <https://www.lipidmaps.org/resources/lipidweb/index.php?page=ms/methesters/me-arch/index.htm> (accessed on 31 March 2023).
 5. Чемпосов В. В. Вероника седая (*Veronica incana* L.): химический состав и применение / В. В. Чемпосов, Д. М. Уваров, Н. К. Чирикова // *Естественные и технические науки*.— 2021.— № 5(156). — С. 148–153. — DOI 10.25633/ETN.2021.05.10.

**МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРАЛЬНЫХ
МЕТОДОВ И БИОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА**

**ENVIRONMENTAL MONITORING USING
SPECTRAL METHODS AND BIOPHYSICAL
PARAMETERS OF CHLOROPHYLL
FLUORESCENCE**

Федоров Анатолий Вячеславович,

МБОУ «Намская средняя общеобразовательная школа № 2» МР «Намский улус», 11-й класс

Никонова Куннэй Михайловна,

МБОУ «Намская средняя общеобразовательная школа № 2» МР «Намский улус», 11-й класс

Борисов Сергей Васильевич,

ГАНОУ «Арктическая школа» Республики Саха (Якутия), 10-й класс

Слепцова Диана Николаевна,

МБОУ «Батагайская СОШ» МР «Верхоянский район», 9-й класс

Дьячковская Сайыына Николаевна,

МБОУ «Майинский лицей им. И. Г. Тимофеева» МР «Мегино-Кангаласский улус», 10-й класс

Колесова Олеся Егоровна,

МБОУ «Батагайская СОШ» МР «Верхоянский район», 9-й класс»

Осипов Айсен Никитич,

МБОУ «Майинский лицей им. И. Г. Тимофеева» МР «Мегино-Кангаласский улус», 10-й класс

Старостина Ангелина Петровна,

МБОУ «Батагайская СОШ» МР «Верхоянский район», 9-й класс

Научный руководитель: **Протопопов Федор Федорович**,
к. б. н., с. н. с. — руководитель лаборатории «Радиационные
технологии» Физико-технического института ФГАОУ ВО «Северо-
Восточный федеральный университет им М. К. Аммосова»

Ключевые слова: флуоресценция хлорофилла, спектроскопия, экология.

Keywords: *chlorophyll fluorescence, spectroscopy, ecology.*

Аннотация. В данной работе приведены результаты изучения водоемов долины Эркээни и г. Якутска на предмет качества воды и наличия определенных веществ, выявленных при помощи спектральных методов и биофизических параметров флуоресценции хлорофилла. Также в данной работе приведен анализ ОЖП-кривой флуоресценции хлорофилла у пырея ползучего (*Eritrigeria repens* L.).

Abstract. *This paper presents the results of studying the reservoirs of the Erkeeni Valley and the city of Yakutsk for water quality and the presence of certain substances, identified using spectral methods and biophysical parameters of chlorophyll fluorescence. This work also provides an analysis of the OJIP curve of chlorophyll a fluorescence of creeping wheatgrass (*Eritrigeria repens* L.).*

Введение

На сегодняшний день остро стоит вопрос об экологическом состоянии всей планеты. Любая работа, направленная на выявление экологического состояния определенной местности и факторов ухудшения экологического состояния, является крайне актуальной. Поэтому в нашей работе мы сделали упор на определение экологического состояния некоторых вод водоемов г. Якутска, долины Эркээни близ села Октемцы. Гипотезой исследования являлось то, что использование экспресс-методов оценки состояния водоемов и лугов с помощью спектральных и биофизических методов поможет выявить возможно загрязненные (или умеренно загрязненные) местности и водоемы.

Выбор объектов для исследования основывался на том, что растительные организмы на земле и воде представляют собой основу практической любой экосистемы. Вода, несомненно, является одним из главных элементов в поддержании жизни на Земле. Жизнь может

быть только там, где есть вода. Для человечества на данный момент чистая вода является важным ресурсом, без которого нельзя представить современную жизнь со всеми ее удобствами. К тому же вода нужна в большом количестве для сельского хозяйства, промышленности. Важным документом, регламентирующим качество питьевой воды, являются СанПиН 2.1.4.559–96 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», где регулируется предельно допустимая концентрация (ПДК) различных вредных веществ, растворенных в воде. Существуют и другие нормы (ГОСТы и СанПиН), которые регламентируют качество воды для других нужд и целей использования; далее мы их не будем касаться.

Одним из важных процессов, протекающих внутри растительных организмов, является фотосинтез. Фотосинтез для высших растений и для зеленых водорослей является процессом, чувствительным к различным абиотическим факторам, в том числе к наличию загрязнений в воде или в почве [2]. Существует множество методов оценки скорости фотосинтеза и конкурирующих процессов, основанных как на субстратах, так и на продуктах фотосинтеза: газовые методы (кислород и диоксид углерода), выработка органического вещества (хлорофилл и другие органические вещества), биомассы и т. д. К тому же существуют и оптические методы оценки эффективности фотосинтеза; одним из них является метод, основанный на флуоресценции хлорофилла *a* растительных клеток. Явление флуоресценции растений было открыто достаточно давно и наиболее подробно было описано в 1931 году Х. Каутским и А. Хиршем. Испускание флуоресценции хлорофилла *a* возникает тогда, когда свет падает на антенный комплекс фотосинтетического аппарата, расположенного внутри хлоропласта во внутренних мембранах, по большей части на поверхностях тилакоидов. По сути, явление флуоресценции хлорофилла *a* отражает ту часть энергии света, которая не смогла поглотиться растением и пройти дальше по электрон-транспортной системе мембраны тилакоида. Поэтому изменение сигнала флуоресценции может служить отличным интактным методом для оценки состояния первичных (световых) процессов фотосинтеза растительных организмов. Различают два типа измерения флуоресценции хлорофилла *a*: быстрая стадия и медленная стадия. В данной

работе была использована быстрая стадия флуоресценции хлорофилла *a*, характеризующаяся быстрым подъемом интенсивности флуоресценции (эффект Каутского), так называемая ОЖР-кривая, по названию фаз перегибов в кривой индукции флуоресценции хлорофилла (ИФХ) в течении первых секунд освещения после темновой релаксации фотосинтетического аппарата растения. Преимуществом данного метода является быстрый процесс измерения образцов — не более 10 секунд на измерение, не считая времени темновой адаптации образцов, которое составляет для разных растений от 15 до 30 минут; возможно измерение в темное время суток или использование специальных клипс.

Одним из интересных показателей природных вод является наличие фракции растворенной органики; в природных водах основой этой фракции являются гуминовые кислоты, поступающие в открытые воды вместе с дождевыми водами с близлежащей почвы. Чаще всего количество и характер растворенной органики оценивается методами ГХ–МС или другими химическими методами. Само собой, количество таких исследований за год условной аккредитованной лабораторией весьма ограничено, они публикуются в открытых отчетах Роспотребнадзора по Республике Саха (Якутия), поэтому множество вод остается без оценки наличия вредных загрязнений, таких как продукты нефтепереработки или же органические загрязнители. Многие органические загрязнения, включая вышеупомянутые соединения, содержат сопряженные π -связи в циклах разной последовательности. Как известно, наличие таких связей, а также структура молекулы влияет на присутствие и интенсивность флуоресценции таких соединений; известны работы зарубежных ученых по использованию флуоресценции фракции растворенной органики для оценки загрязнения растворенной органикой различных вод. В последние годы применение флуоресцентной спектроскопии получило широкое признание в исследованиях водной среды [3]. Показано, что чувствительность, простота и эффективность спектроскопии флуоресценции является многообещающим инструментом для эффективного мониторинга воды и сточных вод. Трехмерный анализ возбуждения-излучения флуоресценции (EEMs) и синхронные спектры флуоресценции являются широко используемыми аналитическими методами измерения флуоресценции сложных

растворенных веществ. Присутствие органических веществ в воде и сточных водах определяет степень и тип загрязнения воды. Применение флуоресцентной спектроскопии для характеристики растворенного органического вещества (РОВ) сделало оценку качества воды простой.

Используя вышеупомянутые менее трудозатратные методы исследования качества воды и состояния растений в водоемах г. Якутска и долины Эркээни, получим информацию об их качественном составе и о возможных загрязнениях окружающей среды. Исходя из этого, была сформулирована цель проектного исследования: провести мониторинговые исследования некоторых водоемов г. Якутска, долины Эркээни близ с. Октёмцы с использованием спектральных методов и биофизических параметров ОЖР-кривой флуоресценции хлорофилла *a* природного фитопланктона и распространенного на этой местности пырея ползучего (*Eritrigia repens* L.).

Материалы и методы исследования

2.1. Выбор точек сбора анализов

Перед началом практической части исследования выделили разные точки сбора проб для анализа воды. Остановились на изучении следующих озер г. Якутска: ЯНИИТ, Белое, Талое, Щорса, Сайсаары и Теплое (рис. 1А).

В долине Эркээни вблизи сёл Чапаево и Октёмцы выделили несколько точек сбора, ориентируясь на их интересное местоположение и на цветение воды. В общей сложности мы исследовали воду из девяти разных прудов (рис. 1Б).

Для чистоты экспериментальных исследований со всех водоемов были взяты образцы воды не менее чем в 2–3 точках сбора рядом с берегом водоемов. Бутыли объемом 2 л промывались водой из водоема, затем отбирались пробы, которые в течение 2 часов доставлялись в лабораторию.

Для исследования ИФХ пырея ползучего было выбрано 8 разных точек сбора. Особенности двух ареалов произрастания пырея является близкое нахождение угольной россыпи на поле и участок рядом с АЗС. Для чистоты исследований данные измерялись с пяти

разных растений с каждого поля; кроме того, не учитывались растения с значительными отклонениями от выборки (выбросы) (рис. 1В).

2.2. Пробоподготовка и измерение рН

Образцы привезенной воды разливались в разные емкости объемом не более 0,5 л, часть воды фильтровалась с помощью стеклянных фильтров диаметром пор 0,7 мкм, чтобы избавиться от взвешенных крупных частиц и микроорганизмов. Часть воды (200 мл) отливалась в посуду для измерения водородного показателя воды с помощью электродного рН-метра. Остатки воды в бутылках использовались для измерения ИФХ фитопланктона после 15-минутной темновой адаптации.

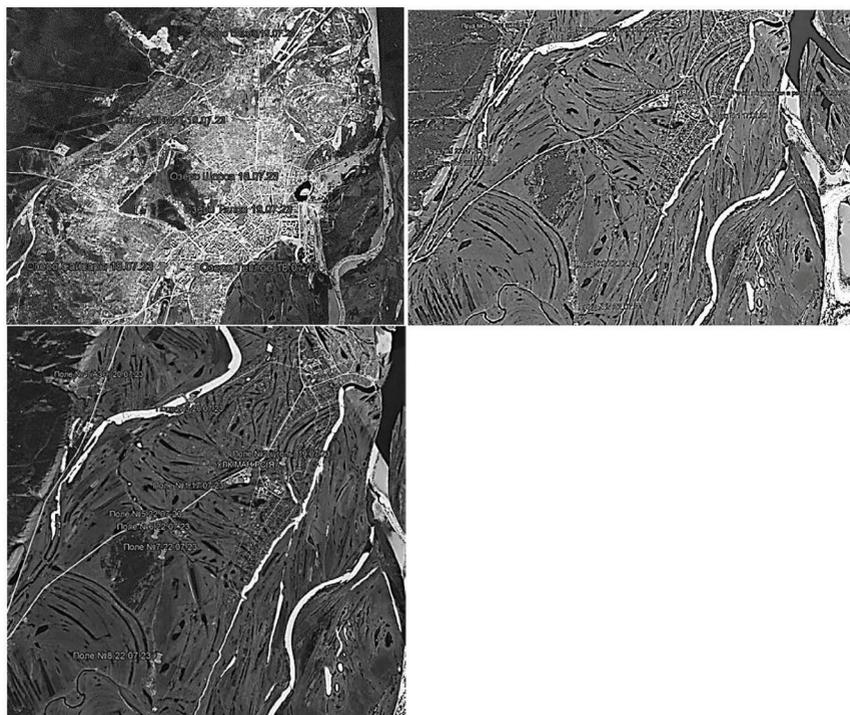


Рис. 1. Карта местности отбора проб воды (А, Б) и исследования активности фотосинтеза растений (В)

2.3. Флуоресцентная спектроскопия

Анализ флуоресценции растворенной органики проводили на флуоресцентном спектрометре FL 6500 производства компании Perkin Elmer (США) с импульсной ксеноновой лампой (рис. 2) с использованием приставки для флуоресцентной кюветы. Измерения для 3D-сканирования возбуждения-излучения флуоресценции (EEMs) проводились в основном при диапазоне возбуждения от 200 до 500 нм с шагом 5 нм при диапазоне испускания от 200 до 900 нм с шагом 1 нм и скорости сканирования примерно 250 нм в минуту. Режим чувствительности детектора автоматический, ширина щелей подбиралась в зависимости от интенсивности сигнала. Для анализа использовалась профильтрованная вода [1; 4].

2.4. Спектры поглощения и параметр UVA 254

Спектры поглощения были измерены на флуоресцентном спектрометре FL 6500 производства компании Perkin Elmer (США) с ис-



Рис. 2. Анализ пробы воды на флуоресцентном спектрометре FL 6500 Perkin Elmer

пользованием модуля для поглощения. Поглощение профильтрованной воды измеряли от 190 до 900 нм с шагом 1 нм. Далее из спектров поглощения выделялся параметр UVA 254, который представляет из себя поглощение в ультрафиолетовой области при длине волны 254 нм. Результаты по поглощению при 254 нм позволяют оценить количество нефлуоресцирующей фракции растворенной органики в профильтрованной воде. Для анализа использовалась профильтрованная вода.

2.5. Анализ ОЖР-кривой флуоресценции хлорофилла *a* (ЖР-тест)

При начале действия возбуждающего света можно наблюдать характерную ОЖР-кривую, в которой можно различить несколько фаз. Характеристика кинетики изменения амплитуды флуоресценции хлорофилла *a* обладает большим количеством информации для характеристики состояния первичных процессов фотосинтеза. В первую очередь это связано с тем, что изменения состояния фотосинтетического аппарата сопровождаются изменениями вероятности тушения энергии электронного возбуждения молекул хлорофилла, что и выявляется в изменении квантового выхода флуоресценции при освещении (эффект Каутского). Сложная индукция нарастания переменной флуоресценции хлорофилла отражает последовательное заполнение различных пулов акцепторов электронов стороне фотосистемы 2 (ФС2), пула пластохинонов и фотосистемы (ФС1). Измерение флуоресценции хлорофилла проводили с помощью портативных флуориметров AquaPen-C AP 100-C и FluorPen FP 100 производства компании Photon Systems Instruments (Чехия) (рис. 3). Режим измерения ОЖР: длительность 2 с, длина волны возбуждения флуоресценции $\lambda = 450$ нм, интенсивность насыщающей вспышки $3\ 000$ мкмоль квантов $\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$. По ИФХ прибор выдает следующие параметры, представленные в таблице 1, которые использовались для анализа результатов [5; 6; 7; 8; 9].

Результаты и обсуждение

Анализ результатов по разным водоемам двух местностей представлен в таблицах 2 и 3.



Рис. 3. Портативные флуориметры: а) FluorPen FP 100, модифицированный под использование клипсов; б) AquaPen AP 100 (кюветный)

Таблица 1.

Параметры JIP-теста ИФХ, используемые для анализа результатов исследований активности фотосинтеза фитопланктона различных водоемов и растительности (пырея ползучего)

Название параметра JIP-теста	Описание
F_0	Минимальная флуоресценция, зарегистрированная, когда все реакционные центры ФС2 открыты. Хорошо коррелирует с содержанием хлорофилла для одноклеточных водорослей
Φ_{Po}	Максимальный квантовый выход первичной фотохимической реакции (после темновой адаптации), который указывает на вероятность захвата энергии поглощенных фотонов (или экситонов, мигрирующих по антенне) реакционными центрами ФС2
PI_{ABS}	Индекс производительности — показатель функциональной активности ФС2, отнесенный к поглощаемой энергии

Таблица 2.

Результаты анализа 3D-спектров флуоресценции растворенной органики в водоемах долины Эркээни вблизи с. Октемы

Название точки сбора	Название идентифицированных пиков	Описание результата
Протока	Пики А, С (средняя интенсивность)	Гуминоподобные вещества, растворенное органическое вещество
Пруд 1	Пики А, С (высокая интенсивность)	Гуминоподобные вещества, растворенное органическое вещество
Пруд 2	Пики А, С (средняя интенсивность)	Гуминоподобные вещества, растворенное органическое вещество
Пруд 3 (АЗС)	Пики А, С (средняя интенсивность)	Гуминоподобные вещества, растворенное органическое вещество
Пруд 4	Пик А	Гуминоподобные вещества
Пруд 5 (свалка)	Пики А, С и М (высокая интенсивность)	Гуминоподобные вещества, растворенное органическое вещество
Пруд 6 (свалка)	Пики А (низкая интенсивность), С и М (низкая интенсивность)	Гуминоподобные вещества, растворенное органическое вещество
Пруд 7	Пик А	Гуминоподобные вещества
Пруд 8	Пик А	Гуминоподобные вещества

После обработки и сведения результатов по всем прудам видно, что пик А наблюдается во всех водоемах, это говорит о наличии в воде гуминоподобных веществ, что является нормой для всех наземных водоемов с питанием из дождевых вод. Пик С показывает наличие в воде общего растворенного органического вещества; наибольшее его количество наблюдалось в прудах 1 и 5. Примечательно, что в озере Щорса наблюдался пик T_2 показывающий наличие в воде триптофаноподобных белковых веществ (рис. 4Б). Возможно, наличие этих веществ связано с бактериальным загрязнением водоема, которое может возникнуть в результате попадания сточных вод или из-за других факторов, например наличия крупных водоплавающих птиц.

Таблица 3.

Результаты анализа 3D-спектров флуоресценции растворенной органики в водоемах г. Якутска

Щорса	Пики А, Т2, С (минимальная интенсивность)	Гуминоподобные вещества, триптофаноподобные белковые вещества, растворенное органическое вещество
ЯНИИТ	Пики А, С и М (низкая интенсивность)	Гуминоподобные вещества, растворенное органическое вещество
Талое	Пики А, С (минимальная интенсивность)	Гуминоподобные вещества, растворенное органическое вещество
Белое	Пики А, С и М (низкая интенсивность)	Гуминоподобные вещества, растворенное органическое вещество
Сайсаары	Пики А, С (минимальная интенсивность)	Гуминоподобные вещества, растворенное органическое вещество
Теплое	Пики А, С (минимальная интенсивность)	Гуминоподобные вещества, растворенное органическое вещество

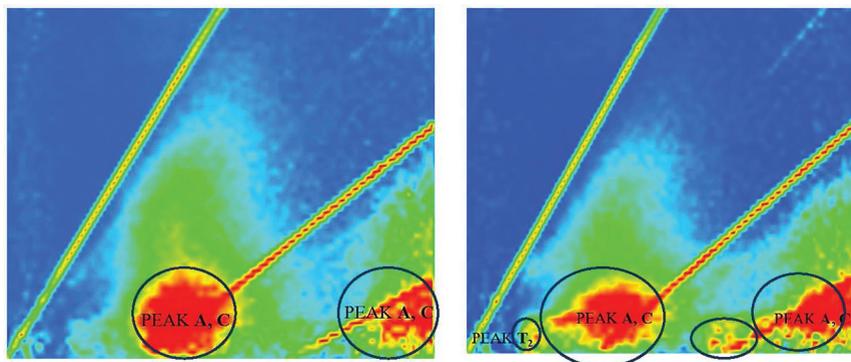


Рис. 4. Сравнение 3D-спектров флуоресценции растворенной органики пруда 8 (А) и озера Щорса (Б). В озере Щорса видно наличие дополнительного пика Т2, отвечающего за содержание триптофаноподобных белковых веществ

Результаты по показателю поглощения UVA254 представлены на рисунке 5. Видно, что в группе водоемов долины Эркээни содержа-

ние растворенной органики преобладает в протоке, прудах 5 и 6 и равен 1,48, 1,66, 1,26 соответственно. Для г. Якутска показатель UVA254 относительно высок в озере ЯНИИТ, что сходится с открытыми отчетами регулярных мониторинговых исследований Министерства экологии РС(Я).

Известно, что показатель UVA254 коррелирует с общим количеством растворенной органики [6]. Результаты также могут указывать на эффективность процессов обработки, которые удаляют органический углерод, или могут быть использованы с соответствующим

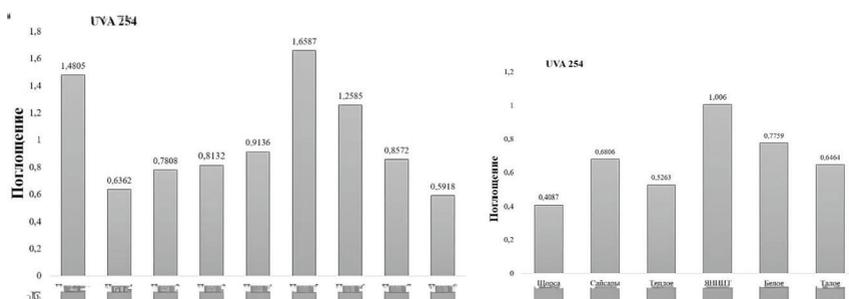


Рис. 5. Ультрафиолетовый показатель поглощения общей растворенной органики UVA254 водоемов долины Эркээни вблизи с. Октемцы и Чапаево и в черте г. Якутска

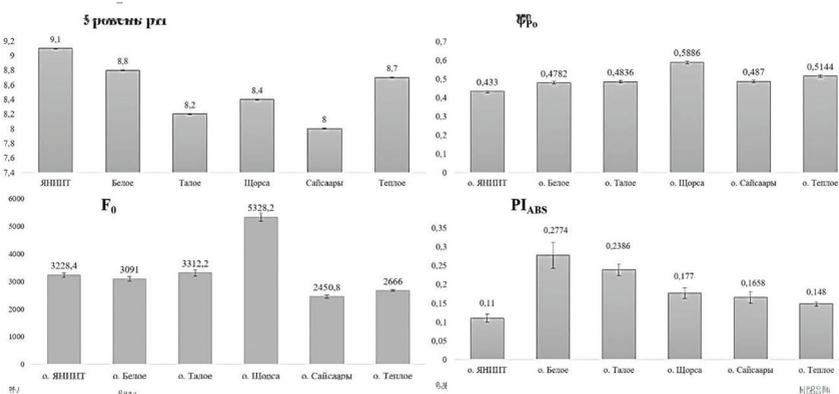


Рис. 6. Результаты IPR-теста ИФХ фитопланктона озер г. Якутска и уровень рН образцов воды

результатом общего содержания органического углерода для расчета удельного значения поглощения ультрафиолетового излучения (SUVA) для образца воды.

Нормальным уровнем кислотности воды считается от 6 до 8 рН, кислотность водоемов от 8 до 11 говорит о том, что в воде содержатся гидрокарбонаты кальция, калия и других металлов, а также присутствует карбонат натрия, из-за чего вода приобретает характерную мылкость, неприятный запах и может вызывать раздражения тканей.

F_0 от 3 до 5 тыс. условных единиц говорит о конце весеннего цветения и о большом количестве фитопланктона в воде.

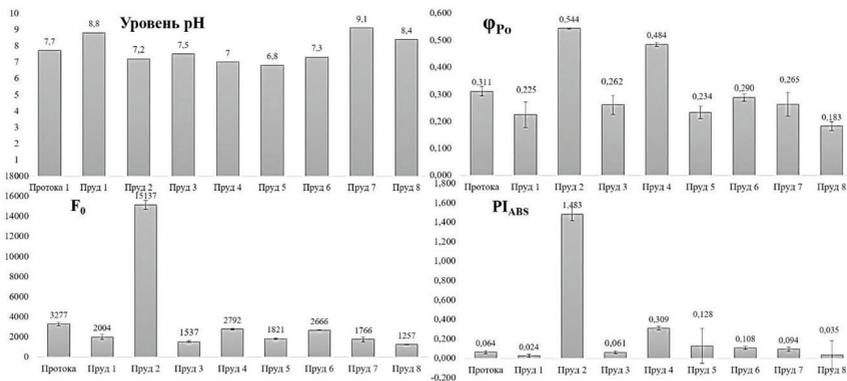


Рис. 7. Результаты JIP-теста ИФХ фитопланктона озер в долине Эркээни вблизи с. Октемцы и Чапаево

По Φ_{Po} и PI_{ABS} мы можем судить о том, что в озере Шорса ожидается цветение воды. Также есть вероятность цветения воды в озере Белом, остальные озера находятся в летней депрессии из-за нехватки питательных веществ.

По рН водоемов долины Эркээни мы видим нормальный уровень кислотности воды во всех прудах, кроме прудов 1, 7 и 8.

По F_0 мы также можем судить об активном цветении воды в пруду 2, в остальных прудах цветения не наблюдалось.

По Φ_{Po} и PI_{ABS} мы также видим, что пруд 2 активно цветет, а в пруду 4 идет процесс подготовки к цветению воды, в остальных также наблюдается летняя депрессия.

2.6. Флуоресценция хлорофилла пырея ползучего

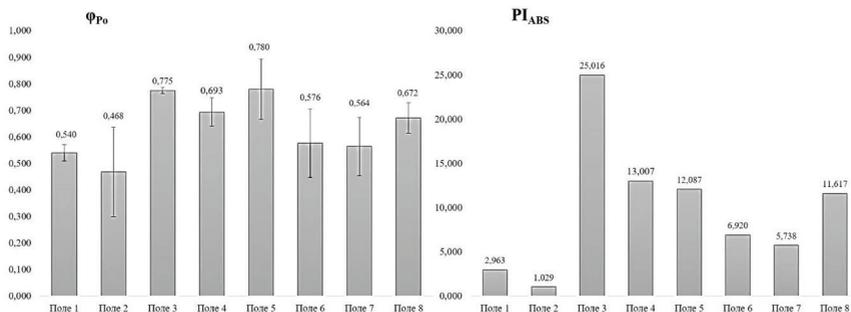


Рис. 8. ИФХ пырея ползучего в долине Эркээни вблизи с. Октемцы и Чапаево

Наблюдение флуоресценции хлорофилла у пырея ползучего показало, что благоприятное состояние первичных фотосинтетических процессов фотосинтеза растения наблюдается в поле 3, 4, 5 и 8 по обоим основным параметрам JIP-теста. Это скорее обусловлено благоприятными факторами, воздействующими на растение в данной местности. Напротив, в поле 1 и 2 показатели индекса производительности ФС2 (PI_{ABS}) резко снижены, что, возможно, связано с повышенным содержанием солей в почве первого участка и с россыпью угля на поверхности второго участка.

Заключение

Анализ параметров флуоресценции хлорофилла *a* пырея ползучего (*Eriogonum repens* L.) показал, что на участках 2 и 1 показатели фотосинтетической активности наиболее низкие. Это, возможно, связано с тем, что на участке 2 рассыпан уголь, содержащий тяжелые металлы, а участок 1 подвержен затоплению и засолению почвы. На участках 3, 4, 5 и 8 наилучшие показатели параметров JIP-теста ИФХ; это говорит о том, что на этих участках наиболее благоприятные факторы для роста и развития растений.

Показатель рН прудов 1, 7, озер ЯНИИТ, Белое, Теплое превышает норму. Поглощение проб воды в ультрафиолетовой области оценивалось параметром UVA254, который показал высокое содержание

общей растворенной органики во всех водоемах, кроме озера Щорса. Анализ спектров люминесценции растворенной органики показал наличие пиков А, С и T_2 (озеро Щорса), которое связано с гуминоподобными веществами и триптофаноподобными белковыми веществами. Возможно, последнее связано со бактериальным загрязнением озера Щорса.

Параметры F_0 , φ_{Po} , PI_{ABS} показали, что в пруду 2 идет цветение, в пруду 4, возможно, в скором времени ожидается цветение, так как активность фотосинтетических показателей высокая (φ_{Po} , PI_{ABS}), а общее обилие фитопланктона низкое (F_0). В озерах города Якутска относительно высокие значения F_0 свидетельствуют о недавно прошедшем весеннем цветении воды и высоком содержании флуоресцирующей растворенной органики. Следует отметить, что в озере Щорса продолжается период цветения, возможно, из-за наличия водоплавающих птиц и поступления макроэлементов с дождевой водой и стоками.

Вклад авторов

Автор Федоров А. В. внес существенный вклад в написание статьи. Обобщил, проанализировал и интерпретировал практический материал, активно играл ключевую роль на всех стадиях проведения исследований.

Авторы Никонова К. М., Борисов С. В., Слепцова Д. Н., Дьячковская С. Н., Колесова О. Е., Осипов А. Н., Старостина А. П. принимали участие во всех стадиях проведения научно-практических исследований, участвовали в анализе и интерпретации практического материала.

Протопопов Ф. Ф. как научный руководитель принимал участие в организации и проведении научно-практической деятельности школьников, правил и одобрил окончательную версию статьи перед ее подачей для публикации.

Список литературы

1. Некрасова Л. П. и др. Применение абсорбционной и флуоресцентной спектроскопии для решения задач контроля качества воды // Системные технологии. — 2020. — № 4 (37). — С. 53–60.

2. Yu J. et al. Excitation-emission matrix (EEM) fluorescence spectroscopy for characterization of organic matter in membrane bioreactors: Principles, methods and applications // *Frontiers of Environmental Science & Engineering*.— 2020. — Т. 14. — С. 1–19.
3. Некрасова Л. П. Мониторинг загрязнения природной воды методом флуоресцентной спектроскопии // *Гигиена и санитария*.— 2022. — Т. 101.— № 5. — С. 578–582.
4. Новиков М. А., Харламова М. Н. Исследование спектральных характеристик флуоресценции природных вод Кольского полуострова // *Труды ВНИРО*.— 2016. — Т. 161. — С. 181–193.
5. Горшкова О. М. и др. Флуоресценция растворенного органического вещества природной воды // *Вода: химия и экология*.— 2009.— № 11. — С. 31–37.
6. Okache J., Haggett B., Ajmal T. UV LED fluorescence based method for detecting organic contaminants in water: a review // *Trans Mach Des*.— 2015. — Т. 3.— № 1. — С. 1–10.
7. Салюк П. А. и др. Флуоресценция растворенных органических веществ в дальневосточных морях при многочастотном возбуждении // *Оптика атмосферы и океана*.— 2013. — Т. 26.— № 4. — С. 286–290.
8. Косолапов И. И. Флуориметрический метод определения содержания нефтепродуктов в воде: дис. — Сибирский федеральный университет, 2016.
9. Strasser R. J., Tsimilli-Michael M., Srivastava A. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient // *Chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis*. — Dordrecht: Springer Netherlands, 2004. — С. 321–362.

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ФТОРОПЛАСТОМ

MODIFICATION OF THE SURFACE OF ULTRA-HIGH MOLECULAR POLYETHYLENE WITH PTFE

Карамзин Ян Иванович,

МБОУ «Амгинский лицей имени Л. В. Киренского» МР «Амгинский улус (район)», 10-й класс

Давыдова Евгения Викторовна,

МБОУ «Амгинский лицей имени Л. В. Киренского» МР «Амгинский улус (район)», 9-й класс

Плотникова Маргарита Васильевна,

МБОУ «Майинская СОШ им. Ф. Г. Охлопкова» МР «Мегино-Кангаласский улус», 9-й класс

Научный руководитель: **Федоров Андрей Леонидович,**

старший научный сотрудник Института проблем нефти и газа СО РАН обособленного подразделения ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН»

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, фторопласт, электронная микроскопия, краевой угол смачивания, элементный анализ.

Keywords: Ultra-high molecular weight polyethylene, polytetrafluorethylene, electron microscopy, contact angle, elemental analysis.

Аннотация. В статье представлены результаты модификации поверхности сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) пленкой из политетрафторэтилена (ПТФЭ). Использование пленки из ПТФЭ при горячем прессовании пластины из СВМПЭ приводит к взаимодиффузии макромолекул полимеров, в результате после удаления пленки на поверхности СВМПЭ остаются фрагменты макромолекул ПТФЭ. Наличие фрагментов макромолекул ПТФЭ на поверхности СВМПЭ придает иные свойства поверхности, что было

зарегистрировано при измерении краевого угла смачивания дистиллированной водой, подтверждено электронной микроскопией с элементным анализом и другими методами.

Abstract. The article presents the results of modifying the surface of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) with a polytetrafluoroethylene (PTFE) film. The use of a PTFE film during hot pressing of a UHMWPE plate leads to interdiffusion of polymer macromolecules; as a result, after removal of the film, fragments of PTFE macromolecules remain on the UHMWPE surface. The presence of fragments of PTFE macromolecules on the surface of UHMWPE imparts different surface properties, which was recorded by measuring the contact angle with distilled water and confirmed by electron microscopy with elemental analysis and other methods.

Введение

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен благодаря своим свойствам является одним из самых востребованных материалов во многих отраслях. Из этого материала изготавливают прочные веревки для альпинизма, парашютного спорта, канаты для судов, рыболовные лески, футеровку для горнорудной техники, бронежилеты [1; 2], защитную обшивку для судов на воздушной подушке, надувных лодок и многое другое. Нельзя не упомянуть использование СВМПЭ в медицине: он широко используется для создания суставных протезов [3; 4]. Несмотря на преимущества, есть и недостатки у этого материала, такие как невысокая температура эксплуатации, связанная с его относительно низкой температурой плавления — около 130 °С [5], сравнительно низкая стойкость к ультрафиолету [6] и др. Одним из способов устранения недостатков может послужить модификация поверхности изделий из СВМПЭ, благодаря которой свойства материала могут быть кардинально улучшены. В данной статье приведены результаты модификации поверхности СВМПЭ фторопластом.

Методы исследования, материалы и изготовление образцов

Для исследования был выбран сверхвысокомолекулярный полиэтилен марки GUR4150 фирмы Celanese с молекулярной массой $8,7 \cdot 10^6$ г/моль, представляющий собой белый порошок. В качестве

модифицирующего компонента была выбрана фторопластовая пленка Ф-4 толщиной порядка 300 мкм.

Образцы в виде дисков для исследований изготавливали методом горячего прессования порошка СВМПЭ при разных температурах: 180, 200, 220 и 240 °С при давлении 10 МПа, время выдержки при этом составляло 30 мин.

Модификация заключалась в следующем: порошок СВМПЭ насыпали в металлическую пресс-форму, в которую предварительно вложили фторопластовую пленку; во время горячего прессования СВМПЭ плавится и непосредственно контактирует со фторопластовой пленкой под давлением, в результате чего происходит взаимодиффузия макромолекул СВМПЭ и фторопласта. При дальнейшем удалении фторопластовой пленки, после того как СВМПЭ полностью остыл, на его поверхности остаются фрагменты макромолекул фторопласта, как схематично представлено на рис. 1.

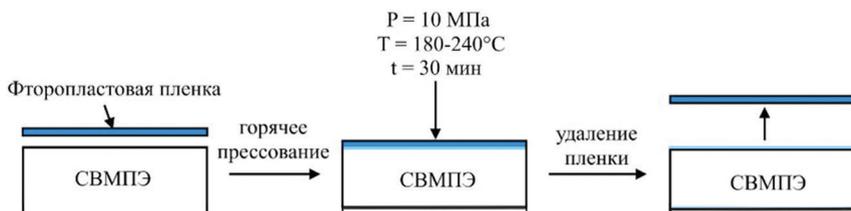


Рис. 1. Схема модификации поверхности СВМПЭ фторопластовой пленкой при горячем прессовании

Определение плотности. Плотность образцов определяли методом гидростатического взвешивания согласно ГОСТ 15139–69. Количество измерений для определения плотности каждого образца равнялось трем.

Измерение твердости. Твердость образцов определялась с использованием твердомера по Шору (шкала D) согласно ГОСТ 24621–2015. Количество измерений одного образца для получения среднего арифметического значения — не менее 5.

Определение краевого угла смачивания. Для определения этого показателя использовали дистиллированную воду. На поверхность образца с помощью механической микропипетки, установленной на штативе, с высоты 15 мм аккуратно наносили каплю. Далее полу-

чали снимок лежащей капли сбоку и в программе ImageJ, применяя инструмент Angle tool, измеряли угол смачивания, как показано на рис. 2. Для статистической достоверности проводили измерение не менее 5 капель с обеих сторон. Вычисление среднего значения и стандартного отклонения проводили в этой же программе.

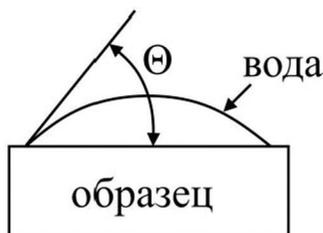


Рис. 2. Схема измерения краевого угла смачивания (θ)

Электронная микроскопия и элементный анализ. Поверхности образцов до модификации и после исследовали с помощью электронного микроскопа Hitachi TM4000 Plus, оснащенного энергоспектральным анализатором, способным проводить элементный анализ. Условия получения снимков были следующие: напряжение 15 кВ, режим детекции обратно отраженных электронов (BSE), режим снятия заряда с образца (низкий вакуум).

Определение коэффициента трения. Коэффициент трения определяли с помощью электронного динамометра, собранного на основе Arduino. Перед испытаниями показания динамометра калибровали по гилям с достоверно известными массами. Метод определения коэффициента трения основан на следующем: если знать значение усилия ($F_{\text{тр}}$), способного тянуть груз с известной массой, то по формуле (1) можно вычислить коэффициент трения (μ):

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{mg} \quad (1)$$

где $F_{\text{тр}}$ — сила трения (Н); m — масса тела (кг); g — ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м/с}^2$).

В данном исследовании использовали латунную гирю массой 100 г.

Результаты и их обсуждение

В таблице 1 представлены значения твердости и плотности образцов. Из данных видно, что твердость образцов постепенно повышается с повышением температуры, при которой образцы выдерживались. Плотность образцов тоже повышается с повышением температуры, однако значение плотности немодифицированного СВМПЭ оказалось в достаточной степени выше, чем у модифицированных при температурах 180, 200 и 220 °С образцов, и соизмеримым со значением плотности образца, изготовленного при 240 °С, что, по всей видимости, связано с неодинаковой скоростью охлаждения образцов на стадии кристаллизации, что привело к различным значениям степени кристалличности образцов. Причем медленное охлаждение приводит к более упорядоченной структуре, которая более плотная, быстрое охлаждение приводит к низкой степени упорядоченности. При изготовлении образцов из-за временных ограничений часть образцов охлаждалась принудительно (образцы, полученные при температурах 180, 200 и 220 °С), а часть (немодифицированный СВМПЭ и образец, полученный при 240 °С) охлаждалась медленно, находясь в нагревательном прессе.

На рис. 3 приведены значения краевых углов смачивания поверхностей образцов дистиллированной водой. При модифицировании СВМПЭ фторопластовой пленкой происходит увеличение угла смачивания. Повышение угла смачивания указывает на повышение гид-

Таблица 1.
Твердость и плотность образцов

Образец	Твердость по Шору (шкала D)	Плотность, г/см ³
Немодифицированный СВМПЭ	53,8 ± 0,5	0,925 ± 0,03
СВМПЭ прессованный со фторопластовой пленкой при температуре, °С	180	0,920 ± 0,02
	200	0,920 ± 0,03
	220	0,921 ± 0,01
	240	0,926 ± 0,02

рофобности поверхности, т. е. усиление водоотталкивающего свойства, так как фторопласт является наиболее водоотталкивающим полимером [7]. Изменение угла смачивания наблюдается вплоть до образца, полученного при 200 °С. Далее значения углов смачивания приобретают стационарность и мало отличаются друг от друга.

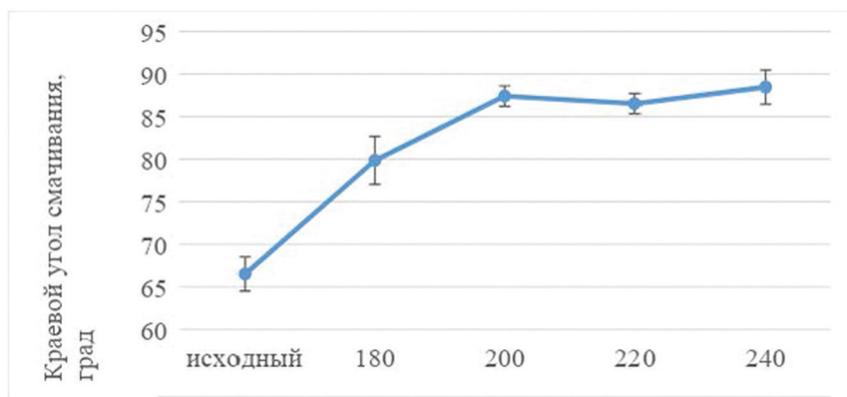


Рис. 3. Значения краевых углов смачивания образцов

Результаты элементного анализа приведены на рис. 4, согласно которым видно, что на поверхности немодифицированного СВМПЭ фтор не обнаруживается, а после модификации фторопластовой пленкой фтор начинает регистрироваться. Максимальное содержание фтора наблюдается при температуре прессования 180 °С. Однако по мере увеличения температуры прессования, вопреки ожиданиям, количество фтора на поверхности становится меньше. Похожую тенденцию имеет кислород на поверхности: с повышением температуры содержание кислорода на поверхности образцов становится меньше. Кислород на поверхности может находиться в составе кислородсодержащих функциональных групп, сформировавшихся в результате термического окисления, а также в виде диффундировавшего в толщу образцов кислорода. Тот факт, что с повышением температуры количество кислорода снижается, заставляет усомниться в том, что в данном случае кислород представлен в виде продуктов окисления. При повышении температуры количество продуктов окисления должно было увеличиться, и вместе с ним повысилось бы содержание

кислорода на поверхности образцов. Таким образом, вероятнее всего, кислород на поверхности находится в диффундированном виде. А так как с повышением температуры растворимость газов в жидкостях (расплав полимера) падает, то у образцов, полученных при повышенных температурах, содержание кислорода меньше.

Значения коэффициента трения приведены на рис. 5.

Как можно увидеть, при модификации фторопластом при температуре 180 °С коэффициент трения демонстрирует минимальные значения, а при других температурах значения коэффициентов трения более-менее соизмеримы с коэффициентами трения немодифицированного СВМПЭ. Этот факт указывает на то, что при 180 °С количество фрагментов фторопластовых макромолекул на поверхности СВМПЭ максимальное, так как фторопласт имеет наименее низкий коэффициент трения из всех полимеров [8].

На рис. 6 приведены снимки поверхностей образцов, полученные методом электронной микроскопии.

Поверхность немодифицированного СВМПЭ ровная, на ней не заметно никаких поверхностных слоев, чего нельзя сказать о по-

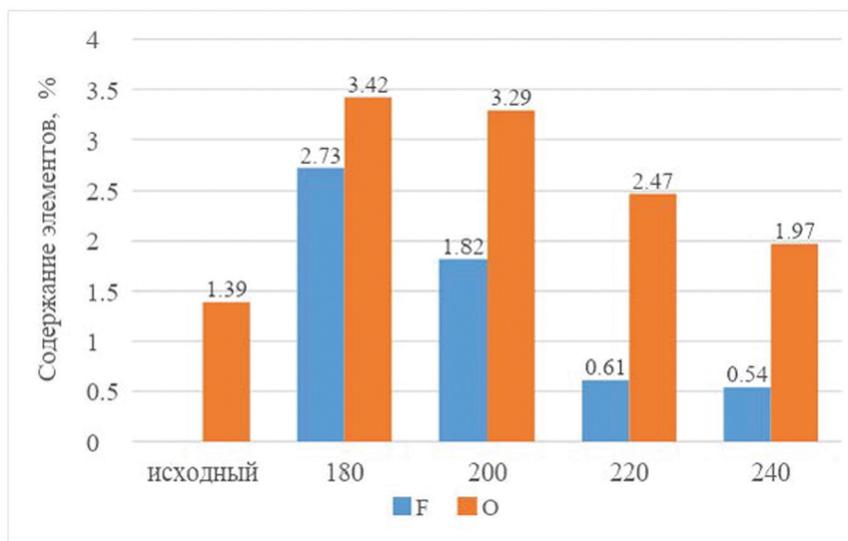


Рис. 4. Содержание атомов фтора (F) и кислорода (O) на поверхностях образцов

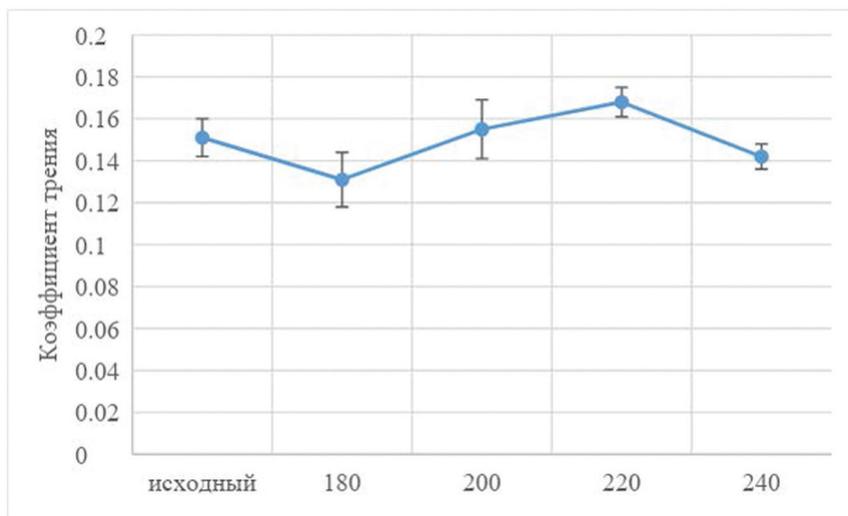


Рис. 5. Коэффициент трения образцов

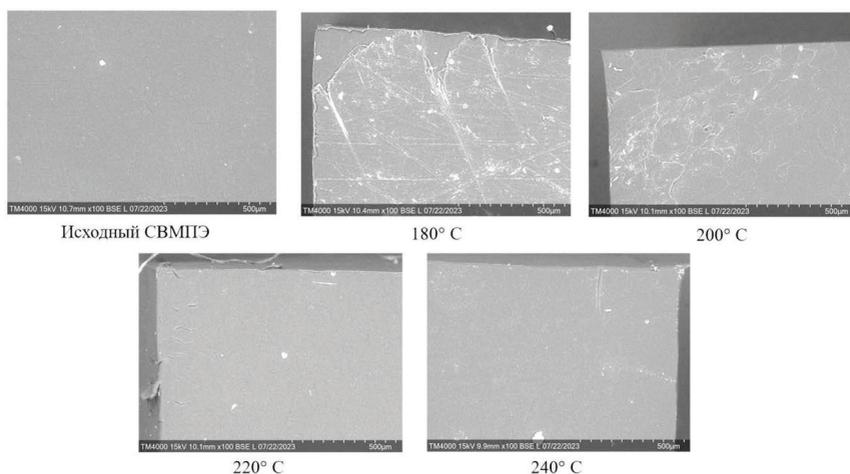


Рис. 6. Микрофотографии поверхностей образцов, полученные с помощью электронной микроскопии (увеличение $\times 100$)

верхностях образцов, полученных при температурах 180 и 200 °C. На снимке образца, полученного прессованием при 180 °C, отчет-

ливо виден поверхностный слой довольно большой толщины. При данной температуре этот слой практически полностью покрывает поверхность СВМПЭ. В случае образца, изготовленного при 200 °С, фторопластовый слой значительно тоньше и имеет дискретный, прерывистый характер. При двух других температурах прессования (220 и 240 °С) слой визуально не регистрируется. Но так как результаты элементного анализа подтверждают наличие атомов фтора на поверхности, то можно утверждать, что в данном случае мы имеем дело действительно с фрагментами фторопластовых макромолекул, которые незаметны при использованном увеличении. Применение большего увеличения, к сожалению, связано с эффектом абляции поверхности под воздействием электронного пучка, в результате чего нельзя уловить мелкие структуры.

Заключение

Как результат комплексного исследования полученных образцов можно сделать следующее заключение.

При горячем прессовании СВМПЭ в контакте со фторопластовой пленкой действительно происходит модификация поверхности СВМПЭ, заключающаяся в том, что на поверхности формируется тонкий фторопластовый слой, что подтверждено методом электронной микроскопии.

Модификация приводит к изменению свойств поверхности СВМПЭ. После модификации поверхность становится более гидрофобной, снижается коэффициент трения. Ожидаемым эффектом при такой модификации является снижение адгезии поверхности.

Рассмотренный способ модификации является технологически простым и дешевым. Придание дополнительных свойств поверхности изделий из СВМПЭ обеспечит расширение области применения этого материала.

Список литературы

1. Forster A. L., Forster A. M., Chin J. W., Peng J.-S., Lin C.-C., Petit S., Kang K.-L., Paulter N., Riley M. A., Rice K. D., Al-Sheikhly M. Long-term stability of UHMWPE fibers // *Polymer Degradation and Stability*.— 2015.— 114, pp. 45–51. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2015.01.028.

2. Cao M., Chen L., Xu R., Fang Q. Effect of the temperature on ballistic performance of UHMWPE laminate with limited thickness // *Composite Structures*,— 2021.— 277, p. 114638. doi: 10.1016/j.compstruct.2021.114638.
3. Bozic K.J., Kurtz S., Lau E., Ong K., Chiu V., Vail T.P., Rubash H.E., Berry D. J. The Epidemiology of Bearing Surface Usage in Total Hip Arthroplasty in the United States // *J. Bone Joint Surgery-Am*,— 2009.— 91(7), pp. 1614–1620. doi: 10.2106/JBJS.H.01220.
4. Bistolfi A., Giustra F., Bosco F., Sabatini L., Aprato A., Bracco P., Bellare A. Ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE) for hip and knee arthroplasty: the present and the future // *J. Orthop*.— 2021.— 25, pp. 98–106. doi: 10.1016/j.jor.2021.04.004.
5. Mazatusziha A., Mat Uzir W., Mohammed R. et al. Thermal and mechanical properties of ultrahigh molecular weight polyethylene/high-density polyethylene/polyethylene glycol blends // *Journal of Polymer Engineering*,— 2013.— 33. pp. 599–614. doi: 10.1515/polyeng-2012–0142.
6. Chabba S., van Es M., van Klinken E.J., Jongedijk M.J., Vanek D., Gijssman P., van der Waals A. C. L. M. Accelerated aging study of ultrahigh molecular weight polyethylene yarn and unidirectional composites for ballistic applications // *Journal of Materials Science*,— 2007.— 42(8), pp. 2891–2893. doi: 10.1007/s10853-007-1617-7.
7. Gladunova O.I., Fedorova Y.E., Astashkina O.V. et al. Composites with Hydrophobic Surfaces // *Fibre Chem.*,— 2015.— 47, pp. 317–319. doi: 10.1007/s10692-016-9686-5.
8. Маркова М. А. Исследование трибологических свойств полимерных композитов на основе ПТФЭ в режиме сухого трения и в среде жидких смазок / М. А. Маркова, П. Н. Петрова, А. Л. Федоров // *Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии*.— 2022.— 15(5). С. 569–582. doi: 10.17516/1999-494X-0418.

Научное издание

ЯКУТСКАЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ШКОЛА

Выпускающий редактор Г. А. Кайнова
Подготовка оригинал-макета М. В. Голубцов

Подписано в печать 15.02.2024. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 5,28.
Тираж 100 экз. Заказ 1910.

Издательство «Бук». 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.
Отпечатано в типографии «Т8 Издательские Технологии», г. Москва,
Волгоградский пр-т, д. 42, корп. 5