



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

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Современные климатические изменения в Арктике и их влияние на растительный покров

Исполнитель Соколов Александр Валентинович
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, старший научный сотрудник
(ученая степень, ученое звание)

Макеев Вячеслав Михайлович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Дроздов Владимир Владимирович

(фамилия, имя, отчество)

«__» «_____» 2022 г.

Санкт-Петербург,
2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1.1 Физико-географическая характеристика Арктики.....	6
1.2 Динамика климатических показателей и их изменений в Арктике.....	12
1.3 Анализ влияния арктического климата в условиях глобального потепления.....	14
Выводы первой главы.....	17
2 Влияние арктического климата на растительность.....	19
2.1 Причины и последствия климатических изменений в Арктике, влияющих на растительный покров.....	19
2.2 Пути решения проблем, связанных с климатическими изменениями, оказывающими влияние на растительный покров.....	26
Выводы второй главы.....	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	34
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	36

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Изменение климата и глобальное потепление, вызванное различными антропогенными и природными факторами, нарушает структуру и функции экосистем. Арктические экосистемы, как известно, обладают наибольшей чувствительностью к изменению климата. Климатические изменения в Арктике происходят в 1,5-2 раза быстрее, чем в других регионах нашей планеты, что приводит к таянию льдов, абразии берегов, деградации многолетней мерзлоты и ряду других негативных последствий [Доклад..., 2019]. Любые природные (в том числе климатические) и антропогенные воздействия приводят к более глубоким, чем в южных регионах, трансформациям ландшафтов Арктики [Тишков, Кренке, 2015].

Такие климатические показатели как радиационный баланс, количество твердых и жидких осадков, сумма активных температур, индекс континентальности, число дней с низкой ($< -30^{\circ}\text{C}$) температурой воздуха, оказывают определяющее влияние на состояние местной флоры. В силу того, что данные параметры способствуют не только изменениям теплового, гидрологического режима, почвенных характеристик, но и сдвигу природных зон в целом, растительность исследуемой территории поменяется коренным образом.

Установлено, что в Арктике ввиду потепления климата происходит повышение относительного обилия трав при снижении покрытия лишайников и мхов [Bhatt U. S. et al., 2013]. Смена травянистой и осоковой растительности тундры более легковоспламеняющейся кустарниковой и древесной может еще больше увеличить запасы «топлива» для пожаров.

Фенологические и репродуктивные изменения растительных сообществ, а также антропогенно обусловленные сукцессии являются последствиями изменения климата и глобального потепления. Влияние изменения климата распространяется на здоровье, качество, плодородие почвы, экологию ризосферы, доступность микроэлементов, эффективность

их использования растениями. В результате изменения климата преобразуются не только параметры каждой среды, но и обмен веществом и энергией в системе «почва-растение».

За тридцатилетний период наблюдений (1984-2012гг) ученые выявили озеленение (т.е. покрытие новой растительностью) тридцати процентов территории Арктики. Вследствие увеличения доступности биогенов при потеплении в последние годы, у всей арктической растительности наблюдается рост продуктивности сообществ, увеличение размеров побега и густоты произрастания или проективного покрытия. Уменьшение покрытой снегом площади и увеличение растительности приведет к изменению характера обмена парниковыми газами между приполярными растительными сообществами и атмосферой, т.е. круговорота углерода, циклов парниковых газов CO_2 и CH_4 в сторону увеличения их эмиссии. Из-за потепления произойдет также увеличение речного стока, изменение системы океанических течений, характер миграции животных и микроорганизмов, высвобождение метангидратов и др.последствия.

В связи с этим, важно исследование темпов изменения климата в Арктической зоне и интенсивности их влияния на местную растительность. Это может стать теоретической основой для прогнозирования негативных экосистемных изменений и предложения мер по их уменьшению.

Объект исследования – Арктика.

Предмет исследования – Изменение климата в Арктике.

Целью работы является исследование климатических изменений Арктики и формулирование решений проблем, связанных с растительным покровом в условиях глобального потепления.

В соответствии с поставленной целью в работе решены следующие **задачи**:

- 1) рассмотреть физико-географические характеристики современной Арктики;
- 2) изучить основные климатические показатели Арктики;

3) посмотреть и проанализировать влияние изменение климата и растительного покрова.

4) предложить пути решения проблем, связанных с климатическими изменениями, оказывающими влияние на растительный покров.

Научную новизну исследования составляют, в том числе:

- установлены взаимосвязи между глобальным потеплением и изменением растительного покрова Арктики;
- предложение по разработке программ по минимизации негативных последствий климатических изменений.

1.1 Физико-географическая характеристика Арктики

Географическое положение. По своей площади Арктика занимает 21,3 миллионов километров. Южной границей Арктики принято считать линию деревьев. К арктическим регионам к северу от линии деревьев относятся Гренландия (Калаалит Нунаат), Шпицберген и другие полярные острова; северные части материков Сибири, Аляски и Канады; побережье Лабрадора; север Исландии; и полоса арктического побережья Европы. Арктическое побережье Европы не всегда относят к Арктике из-за различий во мнениях, т. к. там присутствует более мягкий и теплый климат, он отличается от климата во всей Арктике. [Koch, 2022].

Геоморфология, геология и рельеф. Две трети Арктики составляют акватории, чуть более 1/6 – островная суша и менее 1/6 – материковая суша [Атлас, 1985]. Арктическая часть России охватывает северный ледовитый океан и прилегающие территории. [Атлас, 2011].

Выделяются две основных геоструктуры: континентальная окраина (шельф и континентальный склон как продолжение материков) и абиссальное дно (неоднородное по строению и происхождению).

Шельф (окраина материковой зоны до глубины 200 м) занят окраинными морями (Баренцевым, Карским, Лаптевых, Восточно-Сибирским, Чукотским, Бофорта, Баффина), островами материкового происхождения и архипелагами (Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Сев. Земля, Новосибирские о-ва, Канадский Арктический архипелаг).

В пределах абиссального дна выделяются складчато-глыбистые хребты Ломоносова и Менделеева, а также части срединно-океанического хребта – хр. Геккеля, Книповича, Мона и Исландский. Там же располагаются абиссальные котловины Нансена, Амундсена, Канадская, Макарова и Подводная. Наиболее глубокая котловина Нансена 5449 м.

Материковая часть представлена окончаниями древних платформ (Восточно-Европейской, Сибирской, Северо-Американской) и разделяющими их подвижными поясами (Урало-Охотского,

Тихоокеанского, Северо-Атлантического), а также молодыми платформами (Баренцево-Печорской, Западно-Сибирской). Древние платформы сложены раннедокембрийскими, глубоко метаморфизованными и гранитизированными породами, перекрыты протерозойскими и фанерозойскими осадками. На территории Северной Америки Арктическим плато с высшей точкой г. Гунбьёрн (3700 м, на востоке о. Гренландия). Здесь обычны геологические явления солифлюкции, пучения грунтов и термокарста, морозного выветривания. Геоструктуры поясов частично перекрыты терригенными осадками молодых платформ. Окончания платформ представлены пассивными хребтами (срединно-океаническим, Гаккеля). Дно океана представляет собой осадочный супербассейн.

Канадский щит имеет наиболее внушительные размеры по сравнению с другими щитами, как можно догадаться из его названия он имеет прямое отношение к Канадской Арктике, разве что к нему не относят острова Королевы Елизаветы. Канадский щит представляет из себя один из четырех базисов арктических пород, на Канадском щите расположена Гренландия. В центре Финляндии уверенно разместился Скандинавский щит – второй щит по величине, здесь можно встретить северо-западную часть России, такие страны как Дания, Швеция, Финляндия и другие. Анабарский и Балтийский щиты значительно меньше, оба они находятся на территории России.

Древние складчатые сооружения: байкалиды Тиманского кряжа, п-ова Рыбачий и Канин; каледониды Скандинавии, вост. и сев. Гренландии, Зап. Шпицбергена; герциниды Канадского Арктического архипелага (Иннуитская складчатая система) и молодые мезозойские складчатые сооружения: Пайхойско-Новоземельская, Таймырская, Новосибирско-Чукотская и Северо-Аляскинская.

Оледенение. Общая площадь оледенения арктической суши около 2125 тыс. км². Толщина ледников не превышает 700–1000 м, лишь в Гренландии достигает 3400 м. Гл. районы оледенения: Гренландия (1800 тыс. км²), Канадский Арктический архипелаг (154 тыс. км²), Шпицберген (35,1

тыс. км²). на суше представлены долинные и каровые ледники, а также примыкающие шельфовые ледники. На морском шельфе также встречаются многолетнемерзлые толщи мощностью до 50 м. Арктика – это территория вечной мерзлоты, со скоротечным по продолжительности летом.

Климат. Географически Арктика располагается на самом севере Земли, поэтому для нее характерен резко-континентальный климат, который проявляется в большой разности температур в течение суток, месяцев, года. Также показатель температуры в значительной степени зависит от широты, близости к морю, возвышенности, рельефа. По показателю температуры арктический климат делят на две группы – полярный и тундровый климат. Физические свойства современной Арктики нестабильны, на сегодняшний день среднегодовая температура воздуха увеличивается во времени, существует угроза глобального потепления.

География Арктики приводит к уникальным погодным явлениям, которые повторяются в регионе из года в год. Некоторые погодные явления, такие как циклоны или антициклоны, распространены за пределами Арктики. Арктическая осцилляция — это атмосферная циркуляция, которая происходит в средних и высоких широтах Северного полушария, включая Арктику. Погодные явления, которые повторяются или сохраняются в течение нескольких сезонов, называются полупостоянными максимумами и минимумами, поскольку эти явления проявляются в долгосрочных средних показателях погоды в регионе [Li, 2017].

Особенностью арктического полярного климата является продолжительные по длительности полярный день и полярная ночь, низкие температуры и колоссальные затраты энергии на таяние льда, неравномерное поступление солнечной радиации на поверхность, неоднородность морского и континентального климатов. В глобальном масштабе климат Арктики делится на полярный и тундровый по температурному признаку, соответственно на территории, на которых среднемесячная температура является минусовой и не пересекает отметку в 0 ° C, и на территории, для

которых среднемесячная температура составляет от 0°C до 10°C . С другой стороны, выделяют полярный морской климат (северные острова побережья Атлантического и Тихого океанов) и полярный континентальный климат (Аляска, Канада, Сибирь) при этом к отличительным чертам полярного морского климата причисляют отсутствие предельно низких температур и частые снегопады, к отличительным чертам полярного континентального климата – предельно низкие температуры и небольшие осадки [The Arctic, 2022].

Средние температуры воздуха меняются с запада на восток: от -3°C на юге приатлантического района до -16°C в притихоокеанском районе; -40°C отмечаются на северо-востоке Якутии и -50°C – в центральной части Гренландии (на Гренландском ледниковом щите до -70°C). Средние температуры воздуха летом до $0-3^{\circ}\text{C}$ в центральных и до $6-13^{\circ}\text{C}$ в приокеанических областях. Предельно низкие температуры были зафиксированы в Гренландии – 70°C , сибирском г. Оймяконе (-68°C) и канадском г. Снедж (-63°C).

Радиационный баланс территории отрицательный: потеря тепла $85-125$ МДж/ м^2 в год, или $2-3$ ккал/ см^2 в год компенсируется притоком тёплых воздушных и водных масс. Зимой господствует Арктический антициклон, приносящий низкие температуры с малой облачностью и количеством осадков, летом – циклоническая погода и влияние Северо-Атлантического течения.

В Арктике распространёнными являются Алеутский центр низкого давления, Сибирский высокого давления, Исландский низкого давления и высокого давления в море Бофорта.

Как и в других регионах Земли, температура в Арктике обычно повышается днём, когда солнечный свет нагревает землю, и понижается ночью. Температура в Арктике теплее летом, когда больше солнечного света, и холоднее зимой, когда в регионе темно. Ученые также используют температуру для мониторинга изменений климата. Осадков в год выпадает от

100-250 мм (континентальные области) до 700 мм (приокеанические области). Арктике характерна большая облачность и густой туман.

На фоне других областей Арктики выделяется своим суровым климатом север Гренландии, который в независимости от времени года и месяца обладает ветрами экстремальной скорости. Температура равная 0 °С является редким явлением в северной части Гренландии, в целом она гораздо ниже, чем температура на юге Гренландии, осадки бывают, но по большей части они скудные, на юге напротив присутствует излишние осадки как правило в виде снега. С другой стороны, в настоящее время наблюдаются климатические изменения в области юго-запада Гренландии, а именно уменьшение количества морского льда.

Инверсии типичны для климата Арктики, под инверсиями понимается разделение атмосферного воздуха на слои, причем, в верхнем слое скапливается теплый воздух, в нижнем – холодный. Это явление имеет негативную окраску в связи с препятствием рассеиванию загрязняющих веществ. Инверсии простираются на пике зимнего периода над такими территориями как Сибирь, Гренландия, Якутия.

Океанические течения приносят тепло из более теплых регионов в Северный Ледовитый океан. В Атлантическом океане течение под названием Гольфстрим приносит теплую воду вдоль побережья Северной Америки и через Северный Атлантический океан в направлении Северной Европы. Благодаря Гольфстриму в таких местах, как Норвегия и остров Шпицберген, гораздо теплее, чем в других местах на аналогичных широтах в Арктике.

Динамика климата вкратце характеризовалась повышением с 1920-х по 1940-е гг. (на 5-7°С), что уменьшило общую ледовитость. с 1950-х гг температура опускалась, так что таяние льдов в Арктике было замедлено даже в летний период. Однако, тенденция глобального потепления не заставила себя долго ждать, и, в ближайшие два десятилетия вновь произошло столкновение с повышением температуры в Арктике. В настоящее время уже произошло потепление на 1,5 ° С в районе Баренцева и

Гренландского морей, по прогнозам экспертов это еще не предел потепления, температура будет расти и дальше. Основная причина изменений не известна, существует гипотеза, что они возникают непосредственно в результате повышенного проникновения южных ветров в полярные области [Previdi, 2021]. На архипелаге Шпицберген произошло увеличение температуры на рекордные 8 °С за в первой половине XX века, а также наблюдалось серьезное отклонение от нормы по морскому льду.

Несмотря на тяжелые климатические условия Арктики на ее территории существует немало видов растений и животных, которые смогли приспособиться и адаптироваться в таких трудных для выживания условиях.

Гидрология. На арктическую территорию заходят низовья транзитных рек с широкими устьями (губами): Печора, Обь, Енисей, Пяси́на, Хатанга, Анабар, Лена, Индигирка, Колыма, Колвилл, Макензи и др. В долинах рек нет вечной мерзлоты, представлено лишь сезонное промерзание до 9-10 мес. в году. Характерна зимняя межень, летнее половодье с появлением термокарстовых озер.

Почвы. Маломощные слабокислые и слабогумусированные (0,5–1,5% гумуса) арктич. почвы, кислые и тундровые почвы (до 10% гумуса) с торфянистым слоем и мерзлотными явлениями, гумусированные оподзоленные и глеевые дерновые почвы (4–5% гумуса).

Растительность и животный мир. В растительном покрове арктических пустынь преобладают накипные лишайники, мхи, водоросли; встречаются полярный мак, крупки, камнеломки, лисохвост альпийский и др. На юге зоны появляются карликовые формы ивы и дриада. В сев. и средней подзонах тундры – разреженная мохово-лишайниковая (на северо-востоке Сибири – осоково-пушицевые и кочкарные тундры) растительность и болота, в юж. подзоне – кустарниковая растительность из карликовой берёзы, полярной ивы, низкорослых кустарничков и др. В Арктике обитают песец, лемминг, белый медведь, моржи, тюлени; многочисленны стада

северного оленя, гл. корм которого – ягель. Летом на островах – птичьи базары.

1.2 Динамика климатических показателей в Арктике

Существует перечень климатических показателей, благодаря которому определяется климат Арктики. Каждый показатель рассматривается как в совокупности, так и комплексно, т. к. в динамике показатели оказывают влияние друг на друга. Из климатических показателей формируется погодные условия, благодаря которым можно узнать не только погодные условия в самой Арктике, но и за ее пределами, а также спрогнозировать, как будет меняться климат в будущем.

Долгосрочные измерения температуры воздуха в течение многих лет важны для ученых, чтобы отслеживать изменения климата. Температурные данные показывают, что Арктика сильно потеплела за последние несколько десятилетий.

В области морской Арктики самым теплым с 1952 года остался 2016 год (-7.2°C). 2018 год (-8.4°C) оказался холоднее 2017 года (-8.2°C) [Доклад, 2019]. Но в целом прослеживается тренд увеличения температуры воздуха самого теплого и самого холодного месяца года с 1990 г. по настоящее время. В целом для северной полярной области линейный тренд среднегодовой температуры составил $0.76^{\circ}\text{C}/10$ лет. Наиболее высокие темпы роста отмечены в районе Карского моря: около $1.59^{\circ}\text{C}/10$ лет.

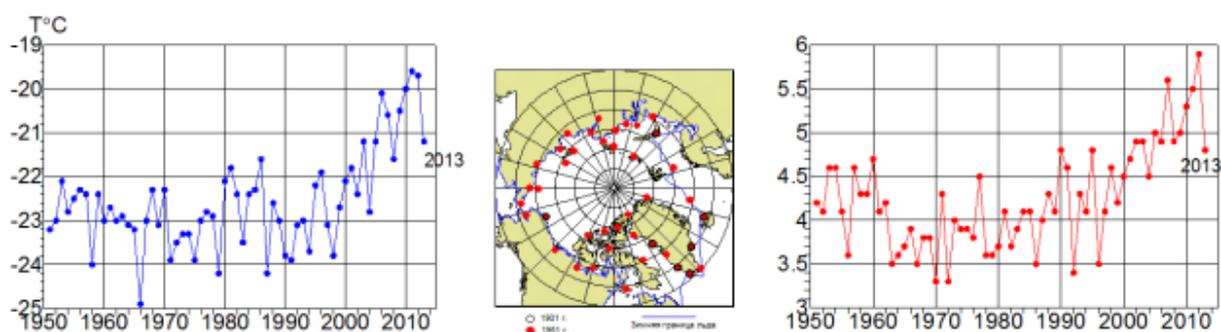


Рисунок 3. Изменения средней температуры воздуха в морской Арктике за 1951-2013 гг. Слева – зимой (ДЯФ), справа – летом (ИИА). В центре – положение станций (адаптирован из Алексеев и др., 2011).

Рисунок 3. Динамика средней январской и средней июльской температуры воздуха

В среднем количество весенних осадков имеет положительные тренды составляют 5.4 и 5.0 мм/10 лет за периоды 1976–2018 гг. и 1999–2018 гг. соответственно. Диапазон скорости роста осадков весной за период 1976–2018 гг [Доклад, 2019]. В северной полярной области в целом холодный сезон с октября 2017 по май 2018 г. характеризовался избытком осадков: 107.9% нормы, наибольшим на территории России для Чукотского района (116.1%). Теплый сезон (июнь-сентябрь 2018 г.) был сухим: 92.2% нормы для северной полярной области и 80.4% в Чукотском районе. Явная тенденция к убыванию осадков обнаруживается в Чукотском районе и в районах арктических морей азиатского сектора СПО в течение всего года (около 13 мм/10 лет). Рост количества осадков (14.2 мм/10 лет) выражен в южной части Североевропейского района. [Доклад, 2019].

Уровень концентрации в атмосфере CO₂ в северных широтах на российских фоновых станциях постоянно растет (в среднем 2.2 млн⁻¹ /год) . В 2018 г. рост концентрации метана сильно замедлился по сравнению с периодом значительного повышения в 2014-2017 гг.

Общее содержание озона является важнейшей характеристикой озонового слоя, которая определяет поглощение ультрафиолетового (УФ) излучения Солнца в области длин волн 290-315 нм (так называемая УФ-Б область). В 2018 г наблюдалась значительная аномалия отклонений общего содержания озона, причем аномалия была больше над Россией, нежели над Гренландией.

Изменения атмосферного давления дает возможность прогнозировать погоду, когда атмосферное давление снижается в Арктике, возникают сильные ветры и происходит выпадение осадков. В настоящее время на большей части площадей Арктики безветренно, малооблачно, характерна

небольшая влажность и малые осадки, однако, с приходом глобального потепления эти климатические показатели могут измениться.

За последние 30 лет показатели температуры Арктики увеличились в два раза быстрее, чем на всей земной шаре, что свидетельствует о глобальном потеплении, это явление известно как арктическое усиление. Арктика теплеет примерно в три раза быстрее, чем другие регионы [The National..., 2022]. Большинство ученых согласны с тем, что такое быстрое потепление является сигналом антропогенного изменения климата.

1.3 Анализ влияния арктического климата в условиях глобального потепления

Изменения арктического климата важны, потому что Арктика действует как холодильник для остального мира - она помогает охлаждать планету. Поэтому изменения арктического климата могут повлиять на климат остального мира.

Арктика выполняет функцию поглотителя тепла для Земли, поэтому для сохранения природного баланса необходимо постоянство погодных моделей. Глобальное потепление оказывает деструктивное влияние на арктический регион и наносит серьезный ущерб местной фауне и флоре. Изменения в Арктике оказывают влияние на всю пищевую цепочку - от фитопланктона до морских млекопитающих, таких как тюлени, моржи, киты и белые медведи.

Арктическое усиление - не единственное свидетельство быстрого изменения климата в Арктике. Также следствием изменения климата является сокращение площади плавучих льдов Северного Ледовитого океана, уменьшение площади снежного покрова (особенно на Аляске, в Гренландии и на севере Канады), таяние многолетнее мерзлых грунтов.

Важным показателем глобального потепления, является площадь морского льда, т. к. морской лед обладает высокой отражательной способностью. Впервые ученые начали замечать признаки изменения

арктического климата в 1980-х годах. С тех пор эти изменения стали гораздо более выраженными. На рисунке 4 показан график, отображающий ежемесячную апрельскую протяженность льда с 1979 по 2022 годы. По вертикали расположены значения в миллионах квадратных километров, по горизонтали – указаны годы. Согласно графику, произошло уменьшение площади льда на 2,6% за десять лет.

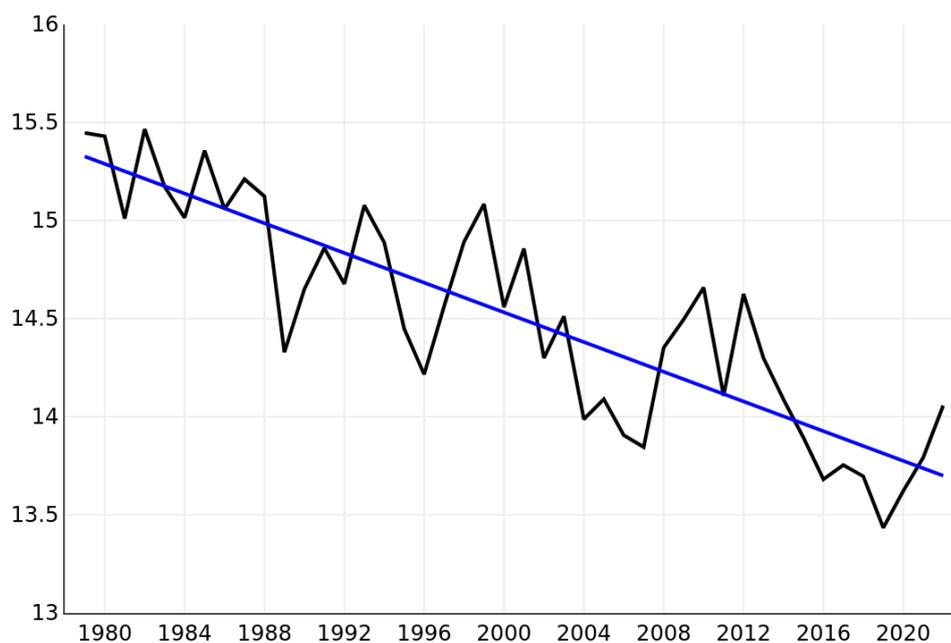


Рисунок 4. «Ежемесячная апрельская протяженность льда с 1979 по 2022 годы»

За последние годы площадь морского льда несколько раз достигала самых низких значений за всю историю наблюдений за морским льдом. По состоянию на начало 2020 года, самый низкий уровень льда по спутниковым данным был зафиксирован в сентябре 2012 года, а также в 2007, 2016 и 2019 гг., а минимум площади льда – в феврале 2022 г. (рис. 5). Желтый контур показывает среднее значение площади морского льда для марта, когда лед обычно достигает максимальной площади.

В связи с антропогенно обусловленным потеплением, максимальная площадь льда в Арктике сокращалась примерно на 13% за десятилетие, а минимальная - на 2,7% за десятилетие.

Когда таяние льда достигнет определенных масштабов, это спровоцирует оттаивание и разложение растений и животных, и, как следствие, выделение метана и углекислого газа в атмосферу, что сопряжено с экологической катастрофой. В данный момент ученые заняты изучением Арктики и разработкой стратегий, которые помогут избежать губительных событий.

Климатические изменения инициируют увеличение количества айсбергов, таяние ледников и мерзлых пород, циркуляцию воздушных масс и солнечную активность, газовый и термический режим арктической территории, что в свою очередь оказывает разрушительное воздействие не только на природные условия в Арктике, но и непосредственно сказываются на экономическом положении арктических стран.

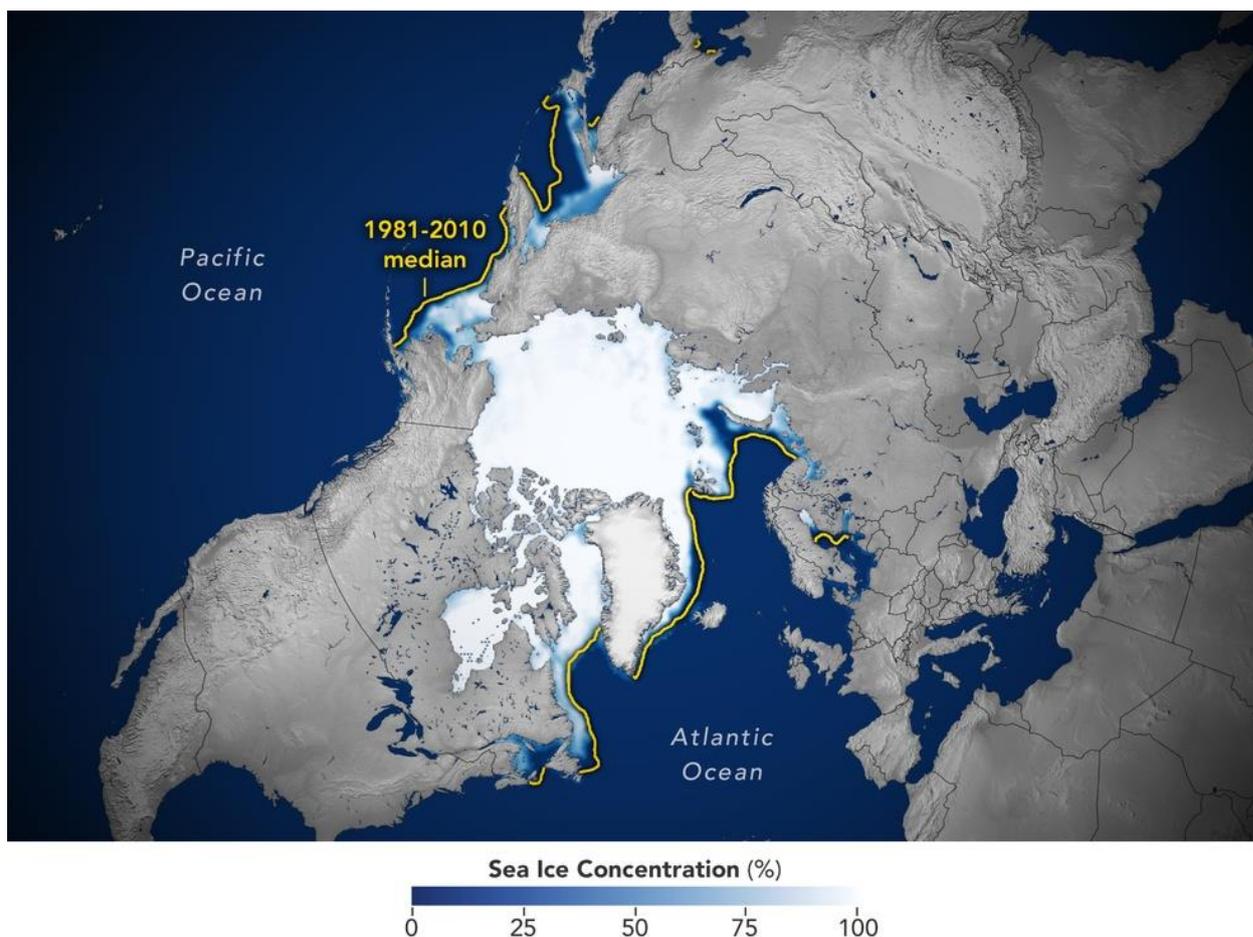


Рисунок 5 «Средняя концентрация арктического морского льда 25 февраля 2022 года»

Опасность глобального потепления, по мнению исследователей, заключается в дальнейшем усилении эффекта. Например, когда летом тает белый морской лед, обнажаются участки темной открытой воды, которые поглощают больше солнечного тепла. Это дополнительное тепло способствует таянию еще большего количества льда. Вечная мерзлота также может быть вовлечена в обратную связь. При оттаивании вечной мерзлоты растения и животные, которые были заморожены в земле, начинают разлагаться. Разлагаясь, они выделяют углекислый газ и метан обратно в атмосферу, что может способствовать дальнейшему потеплению. Изменение растительности Арктики также влияет на яркость поверхности, что в свою очередь влияет на потепление. По мере потепления арктическая атмосфера способна удерживать больше водяного пара, который является важным парниковым газом.

Если повышенные температуры делают вегетационный период в Арктике длиннее, больше растений могут выжить и поглотить больше углерода из воздуха. Однако большинство данных свидетельствует о том, что эффекты положительной обратной связи, ускоряющие потепление, перевешивают эффекты отрицательной обратной связи. Согласно отчетной карте NASA по Арктике за 2019 год, таяние вечной мерзлоты в Арктике может привести к выбросу в атмосферу Земли от 300 до 600 миллионов тонн чистого углерода в год [The National..., 2022].

Выводы первой главы. Географически Арктика располагается на самом севере Земли, поэтому для нее характерен суровый климат, который проявляется в господстве низких температур, колоссальных потерях тепла вследствие отражения от снега и льда, обладающих высоким альбедо. В зависимости от температуры арктический климат делят на две группы – климат ледяных щитов и тундровый климат. Физические свойства современной Арктики нестабильны, на сегодняшний день среднегодовая температура воздуха увеличивается во времени, существует угроза глобального потепления.

Основными климатическими показателями являются температура, атмосферное давление, количество осадков, ветер, влажность, облачность. В зависимости от времени года существуют полярный день и полярная ночь. В настоящее время на большей части площадей Арктики безветренно, малооблачно, характерна небольшая влажность и малые осадки, однако, с приходом глобального потепления эти климатические показатели в отзывчивой к климатическим изменениям Арктике могут измениться.

Быстрое реагирование арктических экосистем на климатические изменения (в два раза быстрее, чем на всем земной шаре) называются арктическим эффектом и диагностируют глобальное потепление.

Таяние ледников отразилось на площади морского льда, которая за последние несколько лет достигала самых низких значений. Таяние льда активизирует разложение растений и животных, и, как следствие, выделение метана и углекислого газа в атмосферу, что усиливает вероятность наступления экологической катастрофы. В данный момент ученые заняты изучением Арктики и разработкой стратегий, которые помогут избежать губительных событий.

2 Влияние на растительность климатических изменений в Арктике

2.1 Причины и последствия климатических изменений в Арктике влияющих на растительный покров

Экосистемы тундры и бореальных лесов особенно пострадают от изменения климата из-за их чувствительности к потеплению. Согласно прогнозам, изменение климата вызовет значительные изменения растительности, что приведет к сокращению мест обитания многих животных, зависящих от ландшафтов тундры и полярных пустынь.

Последствия для экосистем заключаются в увеличении биомассы и видового разнообразия растений, продвижению на север границы леса, активность вредителей и паразитов, пожароопасность, ухудшении условий обитания для животных и др.

Последствия для флоры. Одним из ожидаемых изменений растительности является увеличение обилия и степени распространения кустарников в глубине территории. На севере Аляски и др. использовали повторные фотографии, а также исследования на участках и дистанционное зондирование, чтобы показать, что за последние 50 лет как крупные, так и мелкие виды кустарников увеличились в размерах, численности и протяженности. Исследования на участках и дистанционное зондирование в Канаде, Скандинавии и некоторых частях России также свидетельствуют о расширении кустарников. Недавний обновленный анализ зеленой растительности арктической тундры с помощью дистанционного зондирования показал положительные тенденции за период 1996–2019 годов, причем скорость изменений в Североамериканской Арктике была выше, чем в Евразийской Арктике. В ходе экспериментов Уолкер и др. обнаружили, что потепление увеличило высоту и покрытие лиственных кустарников, уменьшило покрытие мхов и лишайников, а также снизило видовое разнообразие и равномерность.

При летнем потеплении на 1-3°C арктические сообщества реагируют уже через два вегетационных сезона – низкорослые кустарниковые виды

быстрее растут, а мхи и лишайники сокращают свое видовое разнообразие (Walker et al., 2006). Возрастание биомассы арктических видов происходит вследствие увеличения биологической активности и высвобождения от снежного покрова новых территорий. При этом первичная продукция биомассы в Арктике увеличилась на 20% с 1967 г по настоящее время 2022 г.

Образование термокарста (проседание грунта) в результате оттаивания вечной мерзлоты, которое изменяет гидрологический режим на участке и, таким образом, изменяет структуру экосистемы, также должно привести к появлению тундровых экосистем с преобладанием кустарников [Проблемы ..., 2020].

Сложные взаимодействия между кустарниками, снегом и потеплением почвы могут действовать как положительная обратная связь для расширения кустарников. Ученые обнаружили, что скорость таяния снега увеличивается под пологом кустарников. Зимние процессы обеспечивают важнейший эффект положительной обратной связи в увеличении обилия кустарников: большее количество кустарников приводит к более глубокому снегу, что способствует повышению зимней температуры почвы, большей активности микроорганизмов и большему количеству доступного для растений азота. Однако, существует порог накопления снега, при превышении которого влияние на биогеохимический круговорот незначительно.

Реакция бореального леса на потепление, по-видимому, не соответствует ожиданиям прямой положительной связи между потеплением и ростом растений. Фотосинтетическая активность подвергалась анализу в бореальной части Северной Америки с 1981 по 2019 годы, так было обнаружено, что реакция роста растительности в высоких широтах зависит от типа растительности. В то время как в тундровых районах за этот период наблюдалось увеличение интенсивности фотосинтеза и продолжительности вегетационного периода, в лесных районах таких тенденций не наблюдалось. Обновленный анализ фотосинтетической активности с 1981 по 2019 год подтвердил эти выводы. Авторы объяснили плоскую тенденцию к снижению

зеленого цвета бореальных лесов увеличением нагрузки на влагу из-за сочетания таких факторов, как повышение потребности в испарении вследствие более высоких температур и увеличение дренажа почвы из-за уменьшения вечной мерзлоты. Ряд исследований, проведенных на северо-западе Северной Америки, показали расходящиеся тенденции роста на линии леса с 1950-х годов, причем в некоторых районах наблюдается снижение роста, что может быть связано с температурным стрессом, вызванным засухой.

В большинстве арктических регионов имеются свидетельства продвижения линии леса, хотя реакция линии опосредована специфическими видовыми признаками и условиями окружающей среды в ландшафтном и местном масштабах, и осложняется человеческими факторами, такими как практика лесоводства [Ташилова, 2020].

В Северной Америке было обнаружено, что время недавнего продвижения линии леса в трех отдельных регионах Аляски различалось более чем на столетие в разных регионах, что говорит о большой изменчивости в скорости реакции белых еловых лесов на потепление из-за таких факторов, как ограничение укоренения ели на участках с сильной вечной мерзлотой. Белые ели, растущие вдоль линии северного Квебека-Лабрадора, демонстрируют различную реакцию в зависимости от их положения относительно моря. Вдоль побережья вторгшиеся ели существуют на несколько десятков метров выше текущей линии деревьев, в то время как во внутренних районах недавнее потепление было недостаточно сильным, чтобы изменить регрессивную траекторию линии деревьев. Линии деревьев в лесотундровых районах Квебека немного повисились, либо за счет появления белой ели из семян, либо за счет роста в высоту низкорослых елей, уже установившихся на вершинах тундровых холмов. Однако считается, что развитие саженцев ели в лесу, может замедляться из-за суровых условий сильных ветров. Было обнаружено, что во время периода температур выше среднего в начале-середине 20 века на юго-западе Юкона,

Канада, линия леса быстро продвигалась на склонах, обращенных к югу, тогда как на склонах, обращенных к северу, линия леса не продвигалась, но плотность древостоя увеличилась на 40–65%. Это различие было связано, прежде всего, с присутствием разной степени вечной мерзлоты [Ашабоков, 2017].

Недавние исследования подтверждают, что в связи с последними тенденциями потепления в Северной Европе линия древостоя в настоящее время захватывает большие высоты. На основании исследования изменений линии древостоя в течение голоцена, прогнозируется, что линия древостоя сосны в Скандинавских горах Швеции может сместиться по крайней мере на 400 м выше ее нынешнего положения. Тем не менее некоторые ученые приходят к выводу, что необходимо учитывать региональную дифференциацию: линия древостоя находится в стабильном или, возможно, расширяющемся состоянии в южных и северных Скандинавских горах, но в самой северной Европе наблюдается недавний спад. Последний спад, вероятно, связан с более коротким вегетационным периодом из-за увеличения количества зимних осадков, а также с увеличением поголовья северных оленей.

Изменения линии леса были отмечены и в российской Арктике, где присутствует заметное расширение лесов и увеличение плотности и продуктивности существующих лесов на Полярном Урале в связи с потеплением климата и увеличением влажности. Лиственничные леса Ары-Мас на северо-западе Сибири, самый северный лесной массив в мире, расширяются до тундры со скоростью 3–10 м в год, имеет место быть географическая вариация изменений в лесах. Если в российских лесах в целом наблюдается увеличение доли зеленых частей (листьев и хвои), то в северной тайге Сибири, где климат стал теплее, но суше, доля зеленых частей уменьшилась [Комарова, 2020].

За последние несколько десятилетий в Северной Америке и Евразии увеличилось количество лесных пожаров, и, по прогнозам, при потеплении

климата их количество возрастет. Например, в бореальном лесу центральной части территории Юкон в Канаде среднегодовое количество пожаров и выжженная площадь могут удвоиться к 2069 году. Считается, что будущее увеличение количества пожаров в бореальных лесах ускорит потепление климата за счет увеличения выбросов углерода в атмосферу. Тем не менее ученые обнаружили, что долгосрочный эффект лесных пожаров на самом деле заключается в снижении радиационного воздействия из-за увеличения альбедо после пожара в результате увеличения снежного покрова. Таким образом, лесные пожары могут вызывать региональное похолодание в северных регионах, оказывая нейтральное влияние на глобальное изменение климата. Исследователи сообщили, что, поскольку для прорастания семян лиственницы требуется сильное тепло пожаров, увеличение количества лесных пожаров в лесах с преобладанием лиственницы и смешанных с лиственницей таежных лесах в России может способствовать сохранению лиственницы, так как виды-конкуренты мигрируют на север в результате потепления климата.

Одним из наиболее четких и быстрых биологических ответов на повышение температуры являются изменения в фенологии видов. Была проведена серия наблюдений за 542 видами растений и 19 видами животных в 21 европейской стране с 1971 по 2018 год, которая привела к выводу, что весна/лето наступали раньше на 2,5 дня за десятилетие, и что это наступление тесно коррелировало с повышением температуры. Исследование сроков наступления весны (появление листьев) в течение 20-го века в евразийской тайге показывает, что недавнее опережение уникально тем, что оно одновременно затронуло большую часть евразийской тайги. Изучение фенологических явлений в высоких широтах Арктики затруднено из-за отсутствия долгосрочных записей. Основываясь на данных, полученных в Гренландии в 1996–2020 годах, ученые сообщили, что цветение растений, появление беспозвоночных и откладывание яиц птицами происходило в среднем на 14,5 дней раньше в десятилетие, причем тенденции были тесно

связаны со временем таяния снега. Эти данные свидетельствуют о том, что фенологические реакции могут быть особенно критическими в высоких широтах Арктики, что может нарушить трофические взаимодействия между видами, имеющие решающее значение для успешного воспроизводства. Весна началась раньше в большинстве экосистем Сибири с 1982 по 2019 год, причем в городских условиях начало весны наступило на 12,6 дней раньше. Этот сдвиг вызван более ранним таянием снега в связи с повышением температуры и, он может стать причиной активности лесных пожаров [Сабиров, 2018]

Растительный покров Арктики очень чувствителен к потеплению, поэтому в случае климатических изменений произойдут изменения и в растительности. Согласно последним исследованиям, на территории Арктики увеличилось распространение кустарников, из-за чего возросла скорость таяния снега, появились новые тундровые экосистемы. Изменения растительности неблагоприятно сказываются на местах обитания животных, что ведет к вымиранию видов, неприспособленных к жизни в более теплом климате. В условиях потепления происходит повышение потребности в испарении вследствие более высоких температур и увеличение дренажа почвы из-за уменьшения вечной мерзлоты что приводит к снижению уровня кислорода. Раннее начало весны в Арктике может стать причиной лесных пожаров. Осенняя дефолиация, вызванная молью, связана с теплыми зимами в северной Фенноскандии.

Различия в глубине снежного покрова и продолжительности его лежания на двух элементах мезорельефа станут причиной все усиливающихся различий в экологических условиях, что постепенно приведет к изменению состава и, как следствие этого, к дифференциации растительности в виде формирования разных синтаксонов [Матвеева, 2017]. Происходят данные изменения в результате климатически обусловленных изменений торфяников на полигонально-жильные и сменой застойного гидрорежима на проточный.

Недавнее исследование показало, что Шпицберген, удаленный арктический архипелаг, был колонизирован растениями неоднократно и из нескольких источников, что говорит о том, что арктическая флора, способна отслеживать свою экологическую нишу и что рассеивание не является большим ограничивающим фактором в долгосрочных сдвигах ареала. С другой стороны, недавний генетический анализ показал, что во время сдвига ареала на север в конце плейстоцена песец вымер в среднеширотной Европе, а не сместил свой ареал. Это говорит о том, что некоторые арктические популяции могут быть неспособны отследить снижение доступности среды обитания, а значит, арктические виды могут быть еще более уязвимы к повышению глобальной температуры, чем считалось ранее [Хлопов, 2019].

Последствия для фауны. Увеличение биомассы древесно-кустарниковых видов, таких как ива, может сократить среду обитания для карibu. Арктическая фауна также будет вытесняться конкуренцией со стороны вторгающихся с юга видов животных. Способность и скорость, с которой ареалы растений и животных могут смещаться, будет варьироваться среди видов, что приведет к разрушению существующих сообществ и экосистем и формированию новых.

Арктические животные, по-видимому, наиболее уязвимы к индуцированному потеплением увеличению сухости (беспозвоночные), изменениям в снежном покрове и в циклах замерзания – таяния, которые влияют на доступность пищи и защищенность от хищников, изменениям временной приуроченности (тайминга) миграций и размножения и появлению новых хищников, паразитов, конкурентов и болезней. Хотя и темпы продвижения леса на север на современном этапе (2 км в год) меньше, чем после отступления валдайского оледенения 10 тыс. лет назад (25 км в год).

Возрастающая при потеплении климата активность вредителей, паразитов вызывает частоту заболеваний, которые вызывают, например, легочные гельминты у овцебыков (Kutz et al., 2002) и круглые черви у

северных оленей (Albon et al., 2002). Активизирующиеся вредители и участвовавшие пожары приведут к расширению площади лесотундр (Juday et al., 2005).

В связи с потеплением, непарный шелкопряд стал размножаться далеко на севере, достигая вызывающей проблемы численности (Juday et al., 2005).

2.2 Пути решения проблем, связанных с климатическими изменениями, оказывающими влияние на растительный покров

Правильное управление земельными ресурсами жизненно важно для смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним, а также для того, чтобы помочь мировому сообществу не сбиться с пути к достижению целей - сделать наземные экосистемы и сообщества более устойчивыми и способными адаптироваться к последствиям глобального потепления.

Специальный доклад The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2019 года об изменении климата и земле указывает на проблемы. Деятельность человека напрямую влияет на 70% свободных ото льда земель в мире. Рост населения и увеличение потребления ресурсов вызывают беспрецедентные уровни деградации земель, вызванной деятельностью человека. Уже есть признаки того, что некоторые важные регионы, поглощающие углерод, такие как тропические леса Амазонки, становятся чистыми эмиттерами углерода по мере деградации земель [Bloomberg, 2022].

Торговля квотами на выбросы парниковых газов (ПГ). The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) подтверждают жизненно важную роль здоровых земель в защите средств к существованию, климата и биоразнообразия. Позитивные изменения в том, как мы используем землю, обладают огромным потенциалом, чтобы помочь миру достичь нулевого уровня выбросов углерода. Изменения в практике ведения сельского хозяйства и добычи ресурсов должны быть основаны на методах устойчивого управления земельными ресурсами и восстановления земель. Зарождающийся в

последние годы углеродный рынок, а именно торговля квотами на выбросы парниковых газов в атмосферу, является приоритетной мерой для уменьшения антропогенного инициирования глобального потепления.

Восстановление деградировавших земель в глобальном масштабе может ежегодно депонировать в почве три миллиарда тонн атмосферного углерода, что компенсирует около десяти процентов текущих ежегодных выбросов в мире, связанных с энергетикой. В целом, действия по предотвращению, сокращению и обращению вспять деградации земель могут обеспечить более одной трети мер по смягчению последствий изменения климата, необходимых для удержания глобального потепления на уровне менее 2 ° C к 2030 году.

В результате таких действий здоровые земли - могут обеспечить позитивный и долгосрочный вклад в благосостояние и устойчивость общества, например, продовольственную безопасность, занятость, снижение риска бедствий, экологические преимущества и улучшение здоровья населения.

Облесение. Страны-участницы The United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) взяли на себя обязательство восстановить более 450 миллионов гектаров земли к 2030 году, в том числе при помощи посадки лесов. Леса помогают стабилизировать климат, они регулируют состояние экосистем, защищают биоразнообразие, играют важную роль в углеродном цикле, поддерживают средства к существованию. Достижение цели в 350 миллионов гектаров позволит ежегодно поглощать до 1,7 гигатонн углекислого газа в эквиваленте. Чтобы максимально увеличить пользу лесов для климата, мы должны сохранить больше лесных ландшафтов, управлять ими более устойчиво и восстановить больше тех ландшафтов, которые мы потеряли. Прекращение утраты и деградации природных систем и содействие их восстановлению способны обеспечить более трети от общего объема мер по смягчению последствий изменения климата, которые, по мнению ученых, необходимы к 2030 году. Восстановление 350 миллионов гектаров

деградировавших земель в соответствии с Боннским вызовом может ежегодно поглощать до 1,7 гигатонн углекислого газа [Arctic..., 2022].

Роль лесов в изменении климата двойка. Они являются как причиной, так и решением проблемы выбросов парниковых газов. Около 25% глобальных выбросов приходится на земельный сектор - второй по величине источник выбросов парниковых газов после энергетического сектора. Леса также являются одним из наиболее важных решений для борьбы с последствиями изменения климата. Приблизительно 2,6 миллиарда тонн углекислого газа, выделяемого при сжигании ископаемого топлива, ежегодно поглощается лесами. По оценкам, почти два миллиарда гектаров деградировавших земель по всему миру - площадь, равная Южной Америке, - имеют возможность для восстановления. Поэтому увеличение и сохранение лесов является важнейшим решением проблемы изменения климата. [Митина, 2022].

Прекращение утраты и нарушения лесных экосистем и содействие их восстановлению способны внести более трети от общего объема мер по смягчению последствий изменения климата, которые, по мнению ученых, необходимы к 2030 году для достижения целей Парижского соглашения.

Другие выгоды в поддержку как людей, так и природы весьма значительны: во всем мире 1,6 миллиарда человек (почти 25% населения Земли) пользуются ресурсами леса или используют его в качестве жилища, 80% мирового наземного биоразнообразия сосредоточено в лесах [Tielidze, 2018]. Первичные леса и объекты Всемирного наследия приоритетны для охраны. Сегодня все больше потребителей претендуют на лесную продукцию из устойчивых источников, и все больше крупных корпораций по производству пальмового масла, древесины, бумаги и другой лесной продукции начинают переход к цепочкам поставок, свободным от обезлесения.

Поддержание охраняемых природных территорий. В дополнение к созданию и поддержанию охраняемых территорий и запуску инициатив по

более устойчивому управлению, многие страны, субнациональные правительства и частные землевладельцы восстанавливают деградированные и обезлесенные земли. Это помогает снять нагрузку со здоровых, несильно пострадавших лесов и снизить выбросы от обезлесения и деградации лесов. Природа - и, в частности, деревья и леса - может и должна стать частью решения проблемы удержания климата в рамках глобально принятого предела повышения температуры на два градуса [Li et al, 2022].

Охрана торфяников. Торфяники (3% земной поверхности) - это тип водно-болотных угодий, которые имеют решающее значение для предотвращения и смягчения последствий изменения климата, сохранения биоразнообразия, минимизации риска наводнений и обеспечения безопасной питьевой воды. Торфяники являются крупнейшим природным наземным хранилищем углерода. Они аккумулируют больше углерода, чем все остальные виды растительности в мире вместе взятые. В торфяных болотах круглогодичное заболачивание замедляет разложение растений настолько, что отмершие растения накапливаются, образуя торф. В результате углерод, поглощенный растениями из атмосферы, накапливается в торфяных почвах, обеспечивая чистый охлаждающий эффект и способствуя смягчению климатического кризиса. В своем естественном, влажном состоянии торфяники обеспечивают решения для адаптации и смягчения последствий изменения климата: регулирование водных потоков, минимизацию риска наводнений и засухи, предотвращение вторжения морской воды. Они снижают температуру окружающей среды на прилегающих территориях, обеспечивая защиту от экстремальной жары, и меньше подвержены возгоранию во время лесных пожаров. Торфяники сохраняют качество воздуха, важную экологическую и археологическую информацию (пыльцевые пластинки и человеческие артефакты).

Осушение торфяников снижает качество питьевой воды, поскольку вода загрязняется органическим углеродом и загрязняющими веществами, которые исторически впитывались в торф. Поврежденные торфяники (в

некоторых регионах повреждено до 80% торфяников [Митина, 2022]) являются одним из основных источников выбросов парниковых газов, на них приходится почти 5% глобальных антропогенных выбросов углекислого газа. Повреждение торфяных болот приводит к потере биоразнообразия. Например, сокращение популяции борнейского орангутанга на 60% в течение 60 лет в значительной степени связано с потерей среды обитания - торфяных болот [Тетельмин, 2019].

Восстановление торфяных болот может значительно сократить выбросы. Страны должны включить сохранение и восстановление торфяных болот в свои обязательства по международным соглашениям, включая Парижское соглашение по изменению климата [Анисимова, 2019].

Торфяные болота играют важную роль в глобальных усилиях по борьбе с изменением климата и достижению других целей устойчивого развития. Их защита и восстановление жизненно важны для перехода к обществу с нулевым уровнем выбросов углерода. Выбросы от осушенных торфяников оцениваются в 1,9 гигатонн углекислого газа в год. Это эквивалентно 5% глобальным антропогенным выбросам парниковых газов, что непропорционально много, учитывая, что поврежденные торфяники занимают всего 0,3% суши. Например, пожары в лесах торфяных болот Индонезии в 2015 году привели к выбросу почти 16 миллионов тонн углекислого газа в день. Во всем мире оставшаяся площадь естественных торфяников (более 3 млн км²) поглощает 0,37 гигатонн углекислого газа в год. Торфяные почвы содержат более 600 гигатонн углерода, что составляет до 44% всего почвенного углерода и превышает количество углерода, хранящегося во всех других типах растительности, включая мировые леса.

Во многих частях мира за счет торфяников поставляют продовольствие, волокно и другие местные продукты, которые поддерживают экономику.

Необходимо принять срочные меры по защите, устойчивому управлению и восстановлению торфяных болот во всем мире. Это

предполагает прекращение деградирующей деятельности, такой как перепрофилирование сельского хозяйства и осушение, и восстановление условий заболачивания, необходимых для образования торфа. Необходимы цели по восстановлению торфяников (как, например, в стратегиях Великобритании и Ассоциации государств Юго-Восточной Азии), а также включить защиту торфяников в национальные планы адаптации для выполнения обязательств по Парижскому соглашению. Необходимо мобилизовать государственное и частное финансирование для сохранения торфяников и создания «зеленых» рабочих мест. Возможные инструменты включают: схемы торговли выбросами и углеродные рынки; инвестиции в восстановление через оплату экосистемных услуг (таких как чистая вода и защита от наводнений); экологические облигации; государственные гарантии цен на углерод [Blunden, 2021].

Международное сообщество, включая Программу ООН по окружающей среде, Продовольственную и сельскохозяйственную организацию и Рамсарскую конвенцию, уже взяло на себя обязательства по достижению нескольких целей, резолюций и стратегических действий. К ним относятся: оценка распределения и состояния торфяных болот во всем мире; измерение и отчетность по выбросам с торфяных болот; защита и восстановление торфяных болот с помощью целевых инвестиций; стимулирование рыночных механизмов для поддержки торфяных болот; привлечение и поддержка местных сообществ для устойчивого управления торфяными болотами и преодоления связанных с этим затрат; обмен знаниями и опытом по сохранению, восстановлению и улучшению управления торфяными болотами. Эти усилия должны быть продолжены.

Необходимо включить торфяники наряду с лесами во все соответствующие межправительственные соглашения, касающиеся изменения климата, георазнообразия и биоразнообразия. Следует ввести мораторий на разработку торфа до тех пор, пока не будет усилено законодательство, обеспечивающее устойчивое управление торфяниками.

Выбросы от поврежденных торфяников и экономия углерода при восстановлении торфяников могут быть учтены в национальном учете в Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Поэтому правительства могут включить восстановление торфяных болот в национальные планы действий по борьбе с изменением климата [31].

Человек является причиной климатических изменений, он влияет на 70% земель свободных ото льда. Необходимо рационализировать использование земель, что обеспечит здоровые земли и их вклад в благосостояние общества: в продовольственную безопасность, занятость, снижение риска бедствий, экологические преимущества и улучшение здоровья населения. Леса также являются одним из наиболее важных решений для борьбы с последствиями изменения климата. Приблизительно 2,6 миллиарда тонн углекислого газа, выделяемого при сжигании ископаемого топлива, ежегодно поглощается лесами. Торфяники имеют решающее значение для предотвращения и смягчения последствий изменения климата, сохранения биоразнообразия, минимизации риска наводнений и обеспечения безопасной питьевой воды. Они являются крупнейшим природным наземным хранилищем углерода. Углерод, поглощенный растениями из атмосферы, накапливается в торфяных почвах, обеспечивая чистый охлаждающий эффект и способствуя смягчению климатического кризиса, поэтому важно сохранить и приумножить торфяники наравне с лесами.

Выводы второй главы. Растительный покров Арктики очень чувствителен к потеплению, поэтому в случае климатических изменений произойдут изменения и в растительности. Согласно последним исследованиям, на территории Арктики увеличилось распространение кустарников, из-за чего возросла скорость таяния снега, появились новые тундровые экосистемы. Изменения растительности неблагоприятно сказываются на местах обитания животных, что ведет к вымиранию видов,

неприспособленных к жизни в более теплом климате, увеличение испарения, снижение уровня кислорода, рост пожароопасности.

Естественные циклы потепления осложняются последствиями человеческой деятельности. При возрастающей антропогенной нагрузке на экосистемы необходимо сохранить в оптимальном состоянии арктическую среду, ведь от здоровья среды напрямую зависит продовольственная и экологическая безопасность для здоровья населения, а также комфортная для него среда. Гарантами сохранения здоровых экосистем Земли служат леса, болота, которые стабилизируют климат через регуляцию гидро- и терморегима, депонирования углерода и сокращения эмиссий парниковых газов, сохранения биоразнообразия, источниками пресной воды. Поэтому важно сохранить и приумножить торфяники наравне с лесами.

Для сохранения естественного состояния арктических экосистем необходимо прежде всего ограничить выбросы парниковых газов, связанные с деятельностью человека. Мерами по уменьшению эмиссий парниковых газов в атмосферу служит решение следующих задач:

- 1) Жесткая регламентация и ограничение выбросов парниковых газов
- 2) Торговля квотами на выбросы парниковых газов, введение экологических облигаций,
- 2) Восстановление деградированных земель,
- 3) Посадка и восстановление лесов,
- 4) Поддержание охраняемых природных территорий,
- 5) Охрана и восстановление торфяников на законодательном уровне,
- 6) Создание «зеленых» рабочих мест.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суровый климат Арктики подразделяется на две группы – континентальный и морской, а также делится на климат ледяных щитов и тундровый климат. Физические свойства современной Арктики нестабильны, на сегодняшний день среднегодовая температура воздуха увеличивается во времени, существует угроза глобального потепления.

На настоящее время основные климатические показатели меняются: температура воздуха и испаряемость – в сторону повышения, осадки – в зависимости от территории, но в основном уменьшаются, происходит таяние ледников и деградация многолетней мерзлоты, снижается площадь морского льда, уменьшается отражательная способность поверхности. За последние 30 лет показатели температуры Арктики увеличились в два раза быстрее, и реакция экосистем сильнее, чем на всем земном шаре (эффект арктического усиления). Таяние льда чревато оттаиванием и разложением растений и животных, и, как следствие, выделение метана и углекислого газа в атмосферу, что увеличит вероятность наступления экологической катастрофы. Растительный покров Арктики очень чувствителен к потеплению, поэтому в случае климатических изменений произойдут изменения и в растительности: увеличение распространения кустарников, сухости и пожароопасности, сдвиг к северу границы деревьев, рост биомассы и уменьшение биоразнообразия. Изменения растительности неблагоприятно сказываются на местах обитания животных, что ведет к вымиранию видов, неприспособленных к жизни в более теплом климате.

Естественные циклы потепления осложняются последствиями человеческой деятельности. Динамика климатических показателей служит почвой для прогноза будущих изменений климата и предложения мер по минимизации этих изменений и их негативных последствий.

При возрастающей антропогенной нагрузке на экосистемы необходимо сохранить в оптимальном состоянии арктическую среду, уделив особое внимание состоянию лесов и торфяников, играющих огромную

экологическую роль: сохранение биоразнообразия, убежище для редких видов растений и животных, депонирование углерода, поглощение парниковых газов, естественная фильтрация воды, стабилизация климата, его смягчение, регулирование гидро- и терморезима.

В поддержании естественного хода природных процессов в Арктике огромную роль играют законодательные (жесткая регламентация и ограничение выбросов парниковых газов, охрана и восстановление торфяников на законодательном уровне), экономические (введение экологических облигаций, торговля квотами на выброс парниковых газов, создание «зеленых» рабочих мест), биологические и технические (посадка и восстановление лесов, поддержание охраняемых природных территорий, ремидиация деградированных земель) мероприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимова Т. Ю. Оценка состояния выработанного мелкоконтурного торфяника и перспективы его использования / Т. Ю. Анисимова. – Москва: Агрохимическое обеспечение и цифровое земледелие, 2019. – С. 97–102.

Атлас Арктики [Карты] / редкол.: Трёшников А. Ф. [и др.] Москва : Гл. упр. геодезии и картографии, 1985. 204 с.

Атлас биологического разнообразия морей и побережий российской Арктики. — М.: WWF России, 2011. — 64 с.: ил.

2. Ашабоков Б. А., Ташилова А. А., Кешева Л. А., Теунова Н. В., Таубекова З. А. Климатические изменения средних значений и экстремумов приповерхностной температуры воздуха на юге европейской территории России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2017. № 1. С. 5–19.

3. Блинов Л. Н. Экология / Л. Н. Блинов, В. В. Полякова, А.В. Семенча. – Москва: Юрайт, 2022. – 208 с.

4. Гурова Т. Ф. Экология и рациональное природопользование / Т. Ф. Гурова, Л. В. Назаренко. – Москва: Юрайт, 2022. – 188 с.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. – Москва, 2019. – 79 стр. ISBN 978-5-906099-58-7

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год. Москва, 2019.–69с

5. Комарова Ж. Глобальное потепление. Поиск правильного ответа // Наука и инновации. – 2020–№ 4. (206). - С. 46–51.

6. Короновский Н. В. Геология / Н. В. Короновский. – Москва: Юрайт, 2022. – 194 с.

7. Мананков А. В. Геоэкология. Методы оценки загрязнения окружающей среды / А. В. Мананков. – Москва: Юрайт, 2022. – 186 с.

Матвеева Н.В. 2017. Реакция растительного покрова на деградацию жильных льдов в Арктике // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: матер. V междунар. симпозиума (Ханты-Мансийск, 19–29 июня 2017 г.). Томск. С. 34–36.

8. Митина Н. Н. Экология / Н. Н. Митина, Б. М. Малашенков. – Москва: Юрайт, 2022. – 363 с.
9. Оболенский В. Н. Краткий курс метеорологии / В. Н. Оболенский. – Москва: Юрайт, 2022. – 200 с.
10. Проблемы окружающей среды // Левада центр. 23.01.2020. – URL: <https://www.levada.ru/2020/01/23/problemy-okruzhayushhej-sredy/>
11. Сабиров А., Тулвинский В.Б., Физический подход к проблеме глобального потепления. ГОУ ВПО «Набережночелнинский государственный педагогический институт», [www: pandia.ru](http://www.pandia.ru). - 2018.
12. Ташилова А. А. Results of regression analysis of seasonal precipitation in southern Russia over the past 60 years // Proceedings of the International Conference "Scientific research of the SC O countries: synergy and integration». Part 2. (October 28, 2020, Beijing, PRC), pp 229–238
13. Тетельмин В. В. Современная энерго-климатическая история цивилизации. // Гидротехника. — № 3. —2021. — С. 42–46.
14. Тетельмин В. В. Физика и проблемы антропогенного изменения климата. // Вестник РАЕН. — № 4. — 2019. —С. 29–35.
- Тишков А.А., Кренке А. Н. «Позеленение» Арктики в XXI в. как эффект синергизма действия глобального потепления и хозяйственного освоения // Арктика: Экология и экономика. 2015. №4 (20), С. 28-37.
15. Хлопов О.А. Глобальные проблемы экологической безопасности и изменения климата в контексте международного сотрудничества // Тенденции развития науки и образования». – 2019–№ 53. (2). - С. 68–74
16. Шилов И. А. Экология / И. А. Шилов. – Москва: Юрайт, 2022. – 539с.
17. Эдельштейн К. К. Гидрология материков / К. К. Эдельштейн. – Москва: Юрайт, 2022. – 197 с.

Albon, S.D., A. Stien, R.J. Irvine, R. Langvatn, E. Ropstad and O. Halvorsen, 2002: The role of parasites in the dynamics of a reindeer population. P. Roy. Soc. Lond. B, 269, 1625-1632.

18. Arctic Sea Ice News and Analysis // National Snow and Data Center. News. URL: <http://nsidc.org/arcticseaicenews/charctic-interactive-sea-ice-graph/> (дата обращения: 21.04.2022).

Bhatt U. S., Walker D. A., Reynolds M. K. et al. declines in warming and arctic vegetation greening trends over pan-Arctic tundra // Remote Sens (Special NDVI3g Issue). — 2013. — № 5. — P. 4229—4254.

19. BloombergNEF. Hydrogen Economy Outlook. <https://www.about.bnef.com/blog/electric-transport-revolution-set-to-spread-rapidly-into-light-and-medium-commercial-vehicle-market/>. (дата обращения 21.04.2022).

20. Blunden J., Boyer T. State of the Climate in 2020 // Bulletin of the American Meteorological Society. 2021. Vol. 102, iss. 8. P. Si–S475. doi:10.1175/2021BAMSStateoftheClimate.1

21. Cai Ziyi Amplified wintertime Barents Sea warming linked to intensified Barents oscillation / Ziyi Cai¹, Qinglong You, Hans W Chen³, Ruonan Zhang, Deliang Chen, Jinlei Chen, Shichang Kang, Judah Cohen // IOPscience [сайт], 2022. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac5bb3> (дата обращения: 08.04.2022).

22. Encyclopædia Britannica: сайт – 2022. – URL: <https://www.britannica.com/> (дата обращения: 08.04.2022).

23. European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites: сайт – 2022. – URL: <https://www.eumetsat.int/> (дата обращения: 08.04.2022).

24. Guimond J. A. Sea-level rise and warming mediate coastal groundwater discharge in the Arctic / J. A. Guimond, A. A. Mohammed, M. A. Walvoord, V. F. Bense, B. L. Kurylyk // IOPscience [сайт], 2022. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac6085> (дата обращения: 08.04.2022).

Juday, G.P., V. Barber, P. Duffy, H. Linderholm, S. Rupp, S. Sparrow, E. Vaganov and J. Yarie, 2005: Forests, land management and agriculture. Arctic Climate Impact Assessment ACIA, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 781-862.

25. Koch J. C. Sensitivity of headwater streamflow to thawing permafrost and vegetation change in a warming Arctic / J. C. Koch⁶, Y. Sjöberg, J. A. O'Donnell, M. P. Carey, P. F. Sullivan, A. Terskaia // IOPscience [сайт], 2022. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac5f2d> (датаобращения: 08.04.2022).

Kutz, S.J., E.P. Hoberg, J. Nishi and L. Polley, 2002: Development of the musk ox lungworm *Umingmakstrongylus pallikuukensis* (Protostrongylidae) in gastropods in the Arctic. *Can. J. Zool.*, 80, 1977-1985.

26. Li J L F Observational evaluation of global climate model simulations of arctic sea ice and adjacent land pertaining to the radiative effects of frozen hydrometeors / J L F Li¹, Wei-Liang Lee, Kuan-Man Xu, J H Jiang, Yi-Hui Wang, Eric Fetzer, Graeme Stephens, Jia-Yuh Yu, Yinghui Liu⁶ // IOPscience [сайт], 2022. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7620/ac556b> (датаобращения: 08.04.2022).

27. Li Y., Han W., Zhang L. Enhanced Decadal Warming of the Southeast Indian Ocean During the Recent Global Surface Warming Slowdown // *Geophysical Research Letters*. 2017. Vol. 44, iss. 19. P. 9876–9884. doi:10.1002/2017GL075050

28. Mettiäinen I. 'Bog here, marshland there': tensions in co-producing scientific knowledge on solar geoengineering in the Arctic / I. Mettiäinen, H. J. Buck, D. G. MacMartin, K. L. Ricke // IOPscience [сайт], 2022. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac5715> (датаобращения: 08.04.2022).

29. National Snow & Ice Data Center: сайт - 2022. – URL: <https://nsidc.org/> (датаобращения: 08.04.2022).

30. Previdi M. Arctic amplification of climate change: a review of underlying Mechanisms / M. Previdi, K. L. Smith, L. M. Polvani // IOPscience [сайт], 2021. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac1c29> (датаобращения: 08.04.2022).

31. Processes Responsible for the Southern Hemisphere Ocean Heat Uptake and Redistribution under Anthropogenic Warming / K. Lyu [et al.] // Journal of Climate. 2020. Vol. 33, iss. 9. P. 3787–3807. doi:10.1175/JCLI-D-19-0478.1

32. Rybak O.O. Model-based calculations of surface mass balance of mountain glaciers for the purpose of water consumption planning: focus on Djankuat Glacier (Central Caucasus) / O.O. Rybak., E.A Rybak. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – V. 107. – doi :10.1088/1755-1315/107/1/012041.

33. Sun Tianyi The value of early methane mitigation in preserving Arctic summer sea ice / Tianyi Sun, Ilissa B Ocko, Steven P Hamburg // IOPscience [сайт], 2022. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac4f10> (датаобращения: 08.04.2022).

34. The Arctic: сайт – 2022. – URL: <https://ru.arctic.ru/> (дата обращения: 08.04.2022).

35. The National Aeronautics and Space Administration: сайт – 2022. – URL: <https://www.nasa.gov/> (датаобращения: 08.04.2022).

36. Tielidze L.G. The Greater Caucasus Glacier Inventory (Russia, Georgia and Azerbaijan) / L.G. Tielidze, R.D. Wheate // The Cryosphere. – 2018. – V. 12. –P. 81-94. <https://doi.org/10.5194/tc-12-81-2018>

Walker, M., H. Wahren, L. Ahlquist, J. Alatolo, S. Bret-Harte, M. Calef, T.V. Callaghan, A. Carroll and Co-authors, 2006: Plant community response to experimental warming across the tundra biome. P. Natl Acad. Sci. USA, 103, 1342-1346.

