

<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2022-19-4-46-60>

Влияние изменения климата на поглощающую способность болот на примере Ямало-Ненецкого автономного округа¹

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2022

Андреева А.С.*,
Колокольцев А.М.,
Трухляев Э.А.,
Научный руководитель
Турбина К.Е.,
МГИМО МИД России,
119454, Россия, г. Москва,
пр-т Вернадского, д. 76

Аннотация

В статье приведены данные о скорости аккумуляции углерода в болотных экосистемах России, о заторфованности России и отдельно Западно-Сибирской низменности. Приведены результаты исследования, показывающие влияние изменений климата на растительный состав болотных экосистем. Проведена оценка поглощающей способности лесов и болот Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), описано экономическое и промышленное состояние региона, дана оценка выбросов и поглощения углекислого газа в ЯНАО. Доказана гипотеза о том, что глобальное потепление может негативно сказаться на болотных экосистемах ЯНАО, изменив их роль с поглотителей на источники эмиссии углекислого газа. В статье также рассмотрены климатические риски, приведено их разделение на группы, представлены основные риски для экономики России, в т.ч. социальные риски, риски агро- и нефтедобывающей промышленности, а также риски лесных пожаров. Приведены примерные оценки этих рисков, а также рассмотрено их влияние на экономических агентов в России и ЯНАО.

Ключевые слова: болотные экосистемы; аккумуляция углерода болотами; поглощающая способность лесов и болот; выбросы и поглощение CO₂; Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО); глобальное потепление; устойчивое развитие; климатические риски.

Для цитирования: Андреева А.С., Колокольцев А.М., Трухляев Э.А. Влияние изменения климата на поглощающую способность болот на примере Ямало-Ненецкого автономного округа // Проблемы анализа риска. 2022. Т. 19. № 4. С. 46–60, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2022-19-4-46-60>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

¹ Статья подготовлена в рамках студенческой научно-практической конференции «Управление рисками устойчивого развития», состоявшейся в МГИМО МИД РФ 19.05.2022 г. с участием АРМ «Русское общество управления рисками» и при информационной поддержке журнала «Проблемы анализа риска». Статья рекомендована к публикации Экспертной комиссией конференции.

The Impact of Climate Change on the Absorption Capacity of Wetlands on the Example of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug²

Anastasiia S. Andreeva*,
Alexey M. Kolokoltsev,
Eduard A. Trukhlyayev,

Scientific supervisor:

Capitolina E. Tourbina,
MGIMO University,
Vernadsky Avenue, 76, Moscow,
119454, Russia

Abstract

The article presents data on the rate of carbon accumulation in the swamp ecosystems of Russia, and the West Siberian Lowland, as the most peaty region. The study shows the impact of climate change on the plant composition of swamp ecosystems, including an assessment of the absorption capacity of forests and swamps of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (YNAO). The hypothesis is proved that global warming can negatively affect the swamp ecosystems of the YNAO, not only reducing the depositing function of swamps, but also changing their role from absorbers to sources of carbon dioxide emission. Then climate risks, their division into groups and the main risks for the Russian economy are described. Social risks, risks of agro- and oil-producing industries, as well as risks of forest fires are analyzed. Approximate assessments of these risks are given, their impact on economic agents in Russia and the YNAO is considered.

Keywords: swamp ecosystems; swamps' carbon accumulation; absorption capacity of forests and swamps; CO₂ emissions and absorption; Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (YNAO); global warming; sustainable development; climate risks.

For citation: Andreeva A.S., Kolokoltsev A.M., Trukhlyayev E.A. The impact of climate change on the absorption capacity of wetlands on the example of the Yamalo-Nenets autonomous okrug // *Issues of Risk Analysis*. 2022;19(4):46-60, (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2022-19-4-46-60>

The authors declare no conflict of interest.

Содержание

Введение

1. Болота России и Западно-Сибирской низменности
2. Аккумуляция, возгорание, самовозгорание торфа
3. Изменения в составе торфяников
4. Влияние изменений торфяной растительности на углеродный баланс
5. Северные торфяники: роль в углеродном цикле
6. Ямало-Ненецкий автономный округ
7. Постановка гипотез
8. Описание климатических рисков, их группы, влияние на экономику
9. Социальные, промышленные риски и риски лесных пожаров, их оценка

Заключение

Литература

² The article was prepared within the framework of the student scientific and practical conference "Risk Management of Sustainable Development", held at the MGIMO of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation in 19.05.2022 with the participation of the AWS "Russian Society for Risk Management" and with the information support of the journal "Issues of Risk Analysis" The article is recommended for publication by the Expert Commission of the conference.

Введение

На сегодняшний день в России собраны многочисленные данные о скорости накопления торфа и углерода в болотных экосистемах различных типов в среднем за голоцен. Точность данных далека от совершенства и, к сожалению, не позволяет определить текущую скорость накопления органического вещества в болотах и более точно определить характер функционирования экосистемы, а именно является ли болото нетто-стоком или нетто-источником углекислого газа для атмосферы.

Важно отметить, что регион Ямало-Ненецкого автономного округа выбран не случайно, поскольку в данном регионе сосредоточено огромное количество болот, а значит, результат поглощения или эмиссии болотами углекислого газа будет быстро заметен. Также в данном регионе большая концентрация различных промышленных предприятий, в том числе одними из самых значимых отраслей являются нефтедобыча и нефтепереработка. Именно поэтому фактор поглощающей CO_2 способности болот может стать основным барьером достижения целей углеродной нейтральности региона. Значимость болотных экосистем и их влияние на окружающую среду нельзя недооценивать, так как они играют значительную роль в углеродном цикле, особенно в России, где заторфованность территорий довольно значительна. Существенную роль в увеличении концентрации парниковых газов болота играют и при пожарах, ежегодно наносящих огромный ущерб России. В отличие от обычных пожаров торфяные крайне тяжело поддаются быстрому обнаружению и ликвидации. При этом при горении торфа выделяется огромное количество углекислого газа.

В текущей повестке дня все чаще содержатся призывы к углеродной нейтральности, экзистенциально важной не только для России, но и для всего мира в целом. Цель достижения нулевых выбросов углекислого газа поставлена для минимизации антропогенного фактора влияния на изменение климата, в том числе на глобальное потепление, влекущее за собой разрушительные последствия. Исходя из общепризнанного определения углеродной нейтральности, существует только два способа ее достижения: компенсация выбросов (улавливание) и сокращение выбросов. Болотные экосистемы являются значимыми для первого способа.

Для каждого региона способы достижения углеродной нейтральности индивидуальны исходя из анализа углеродного цикла в конкретной местности. Так, например, ситуация с выбросами углекислого газа будет отличаться в регионах, где много лесов и болот, а также отсутствует тяжелая промышленность, от ситуации в регионах, где сосредоточены крупные нефтяные и газовые месторождения и ведется их разработка.

1. Болота России и Западно-Сибирской низменности

Общая площадь оторфованных и заболоченных земель России — 3,691 млн km^2 , что составляет 21% территории страны. Содержание углерода в них — 100,9 Гт. В России насчитывается 1,39 млн km^2 болот со слоем торфа более 30 см, что составляет 8% территории страны. Более трети составляют торфяные болота со слоем торфа более 70 см — 476 тыс. km^2 [1, с. 9]. Большая их часть, а именно 70—90%, сосредоточена в Западно-Сибирской низменности (103,9 Гт торфа, 59% запасов страны, 39% мировых запасов), а также на севере страны, в таежной зоне и на Дальнем Востоке [2]. В арктической и степной зонах увеличению площади болот препятствуют либо холодная температура, либо сухой климат, при котором болота не успевают накопить достаточное количество растительной массы за лето.

Территория России имеет различную заторфованность (рис. 1). Самым высоким показателем характеризуется Западно-Сибирская низменность и составляет в среднем 22% (584 тыс. km^2). На торфяные болота Западной Сибири приходится 42% от территории болот России, именно на этой территории в болотах сосредоточено 36% депонированного углерода России [2].

2. Аккумуляция, возгорание, самовозгорание торфа

Некоторые растения, попадающие во влажную среду, не разлагаются, как другие, а вместо этого превращаются в органическую массу не полностью разложившихся растительных остатков, образуя торф.

На территории образования торфа вода сохраняется дольше. Появляются новые влаголюбивые

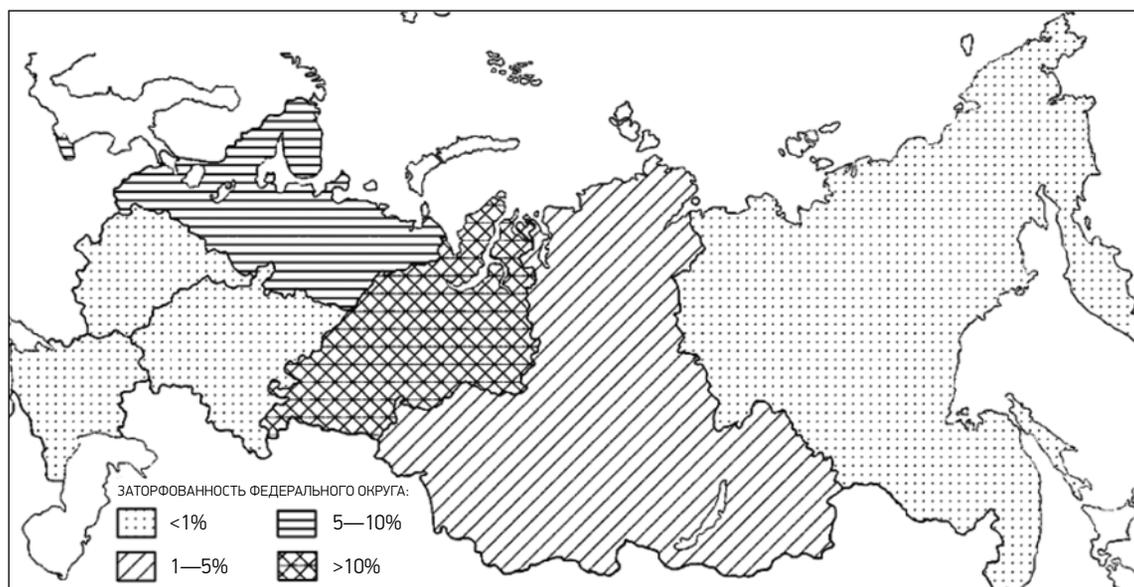


Рис. 1. Заторфованность регионов России (по Л.И. Инишевой, М.А. Сергеевой, О.Н. Смирнову, 2012)

Figure 1. The peat resources of the regions of Russia (according to L.I. Inisheva, M.A. Sergeeva, O.N. Smirnov, 2012)

растения и формируют еще больше торфа, который накапливает еще больше влаги.

Торфяники и болота поглощают углерод гораздо эффективнее лесов. Растения, которые погибли и превратились в торф, сохраняют большую часть углекислого газа, поглощенного в течение их жизни, и сохраняют его тысячелетиями. Например, одно из крупнейших болот мира и России — Васюганское болото, аккумулирует в год 3—10 млн тонн углекислого газа и производит 1,5—4 млн тонн кислорода. Однако если разрушить экосистему, осушить или добывать торф, это сразу окажет непосредственное влияние на климат региона [3].

Самой значительной экологической катастрофой ООН назвала осушение месопотамских болот, которые упоминались еще в древнем эпосе. Осушение болот привело к тому, что 19 000 км² стали пустыней, климат стал более засушливым и жарким.

Торфяные пожары на осушенных болотистых местах — торфяниках, где нет влаги, как на болоте, достаточно частое явление. Горят торфяники внутри слоев торфа и лишь иногда на поверхности, хотя дым и жар указывают на местоположение горения. Именно внутреннее тление торфа является основой торфяных пожаров. Длиться данный про-

цесс может годами, на него не влияют ни дожди, ни растаявший снег.

Причинами торфяных пожаров являются несколько факторов, где чаще всего присутствует человеческий. Однако если температура летом поднялась до 55 °С, то существует высокая вероятность возникновения торфяного пожара, поскольку возгорание торфа отмечается при 50 °С. Редко, но случается, что причиной пожара становится молния или лесной пожар, стоящий на торфяном слое. Необходимо принимать в расчет и влажность торфяного слоя. Если она падает ниже 25%, то пожар практически неизбежен. Еще один важный показатель — уровень залегания грунтовых вод. Если они располагаются достаточно глубоко, то гореть торфяник может долго за счет углубления тлеющего слоя, и это считается самой опасной ситуацией.

Самовозгорание торфа — процесс, который происходит исключительно в добытом торфе с содержанием влаги около 35%. Этому процессу предшествует разогревание торфа до критической температуры 60—65 °С. Однако случаи такого саморазогревания и последующего самовозгорания встречались только в штабелях добытого фрезерного торфа.

Достоверные случаи самовозгорания торфа в залежи (даже в осушенной и разработанной), ровно как в неосушенном болоте, неизвестны. По мнению доктора технических наук, заведующего кафедрой геотехнологии и торфяного производства Тверского государственного технического университета О.С. Мисникова, торфяники не самовозгораются [4].

3. Изменения в составе торфяников

Преобладающие климатические условия являются основной движущей силой растительного состава экосистем. Состав растительности является основной характеристикой любой экосистемы, а также связан с ее функционированием. Экосистема может поддерживать свое функционирование только до тех пор, пока она обладает достаточным видовым богатством и характерным для нее разнообразием. Биоразнообразие является ключом к устойчивости экосистем и их функционированию в измененных климатических условиях.

Если виды не могут адаптироваться к новым климатическим условиям, им необходимо переместиться в более благоприятные условия, чтобы выжить. Большинство растений арктических экосистем, болот не могут быстро адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды. Фрагментированная, мозаичная структура биоценозов среднеширотных торфяников и тот факт, что бореальные торфяники простираются до северных границ материка, делают невозможным перемещение растений этих экосистем в более подходящее место после изменения климата в их фактическом местоположении. Поэтому у них остается только два варианта: приспособиться к новым условиям или погибнуть.

Торфяники являются наиболее однородными природными экосистемами в мире с очень похожим растительным составом среди различных водно-болотных угодий в разных частях земного шара. Северные торфяники состоят из относительно небольшого числа видов со сложными взаимоотношениями и контрастными реакциями на изменение климата [5].

Т. Уокер, С. Уорд, Н. Остл и Р. Барджетт провели эксперимент с целью проверки гипотезы о том, что доминирующие виды из трех присутствующих функциональных типов растений (карликовые кустарники, например, *Calluna vulgaris*, граминоиды,

например, *Eriophorum vaginatum*, мохообразные, например, *Sphagnum capillifolium*) контрастируют в своих реакциях на потепление и наличие или отсутствие других функциональных типов растений.

В ходе эксперимента осуществлялось увеличение температуры с использованием камер с открытым верхом, которые повышали температуру воздуха примерно на 0,35 °С, измерялись параметры микроклимата, показатели состояния воздуха и почвы, влияющие на рост растений. Ученые обнаружили, что только рост *Calluna vulgaris* увеличивался с экспериментальным потеплением (на 20%), тогда как присутствие карликовых кустарников и мохообразных увеличивало рост *Sphagnum capillifolium* (46%) и *Eriophorum vaginatum* (20%). Рост *Sphagnum capillifolium* также был отрицательно связан с температурой почвы, которая была ниже в присутствии карликовых кустарников *Calluna vulgaris*. Поэтому карликовые кустарники могут способствовать росту *Sphagnum capillifolium*, охлаждая поверхность торфа. И наоборот, влияние присутствия мохообразных на рост *Eriophorum vaginatum* не было связано с каким-либо изменением микроклимата [6].

4. Влияние изменений торфяной растительности на углеродный баланс

Северные торфяники относятся к экосистемам с наибольшим потенциалом для повышения темпов изменения климата за счет положительной обратной связи из-за большого запаса углерода в них и расположения в наиболее быстро нагреваемом регионе земного шара. Является ли экосистема стоком или источником углерода по отношению к атмосфере, зависит от темпов поглощения и высвобождения углерода. Углерод поглощается посредством фотосинтеза и высвобождается с выделением метана.

5. Северные торфяники: роль в углеродном цикле

Бореальные и субарктические торфяники составляют углеродный пул в 455 Гт, который накопился в течение послеледниковой эпохи со средней чистой скоростью 96 млн тонн/год. Используя модель Клаймо (1984), текущий показатель оценивается в 76 млн тонн/год. По оценкам, длительное осушение этих торфяников вызывает окисление

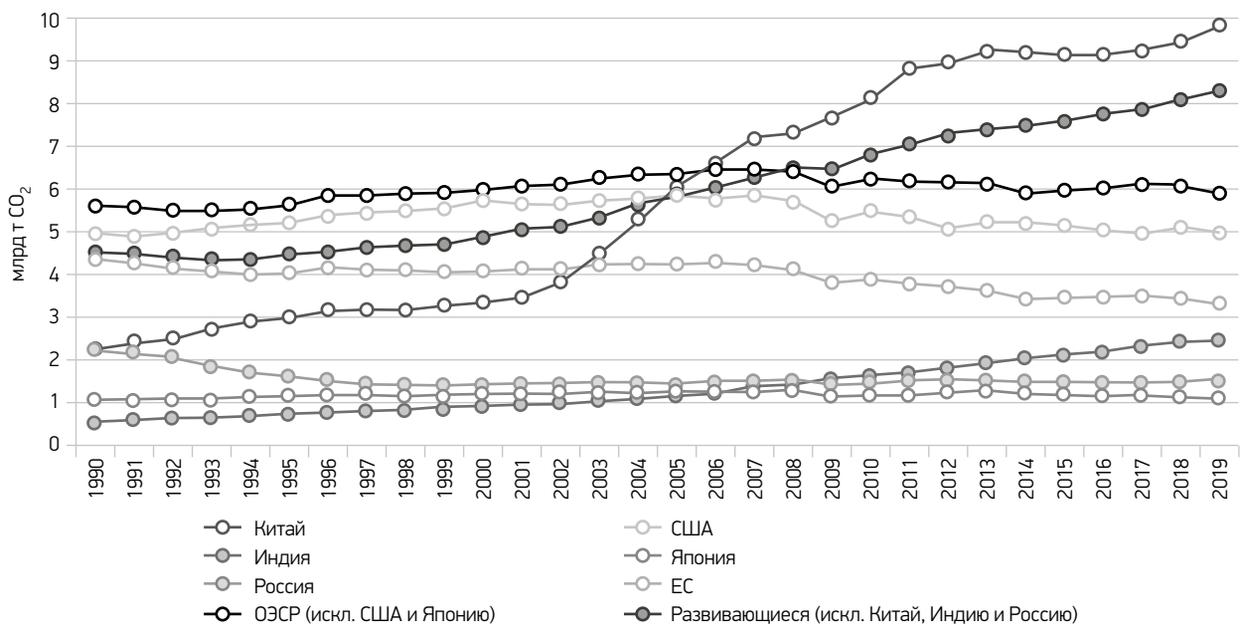


Рис. 2. Выбросы CO₂ по ведущим странам и регионам мира, млрд тонн CO₂, 1990—2019 гг.³

Figure 2. CO₂ emissions by leading countries and regions of the world, billion tons CO₂, 1990—2019

до CO₂ чуть более 8,5 млн тонн углерода в год, при этом сжигание топливного торфа прибавляет 26 млн тонн/год. Эмиссия метана, по оценкам, ежегодно высвобождает 46 млн тонн углерода. Влияние изменений уровня грунтовых вод на потоки CO₂ и CH₄ остро нуждается в исследовании широкого спектра торфяников, особенно в регионах, где таяние вечной мерзлоты, эрозия термокарста (процесс неравномерного проседания почв и подстилающих горных пород вследствие вытаявания подземного льда) и развитие талых озер являются вероятными результатами потепления климата [7].

6. Ямало-Ненецкий автономный округ

Ямало-Ненецкий автономный округ (далее — ЯНАО) находится на крайнем севере крупнейшей в мире Западно-Сибирской низменности. Этот участок расположен в северной тайге, в зоне тундры и лесотундры. Преобладающие виды деревьев: ель, сосна, кедр, лиственница. Общая площадь лесного массива на территории составляет 32 113 тыс. га при общей площади округа 76 925 тыс. га, то есть почти половину всего ЯНАО занимают леса. На долю болот приходится 12 047,3 тыс. га, что составляет 15,7% от общей площади.

Исходя из этих данных, можно утверждать, что депонирующая функция болот и лесов в данном регионе крайне важна не только в масштабах самого Ямало-Ненецкого автономного округа, но и в масштабах всей Российской Федерации. На рис. 2 приведены страны с самым большим уровнем эмиссии парниковых газов, и РФ занимает в данном списке 6-е место, что говорит о том, что проблема выбросов парниковых газов является значимой [8].

Оценка поглощающей способности лесов ЯНАО. Эксперты считают, что за год 1 га лесного массива поглощает из воздуха порядка 1—2 тонн CO₂ в солнечный день, а также задерживает до 100 тонн пыли в сутки⁴, так называемый процесс термофореза. Можно оценить, что суммарно за год леса ЯНАО могут поглотить 7,52 млн тонн углекис-

³ Экология и экономика: динамика загрязнения атмосферы страны в преддверии ратификации Парижского соглашения. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/23719.pdf?ysclid=155qrmcass540525108>

⁴ Food and agricultural organization of the United Nations. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.fao.org/3/y0900e/y0900e06.htm#:~:text=Carbon%20sequestration&text=Typical%20sequestration%20rates%20for%20afforestation,et%20al.%2C%201996> (Дата обращения: 24.05.2022).



Рис. 3. Структура ВРП региона⁵

Figure 3. Region GRP structure

лого газа, принимая во внимание 57 солнечных дней за 2021 год (формула 1).

$$\text{Поглощение углекислого газа лесами} = \frac{\text{Площадь лесного массива} \times 1,5 \text{ т в среднем}}{365 \text{ дней в году}} \times 57 \text{ (1)}$$

Оценка поглощающей способности болот ЯНАО. Согласно последним исследованиям⁶, болотные экосистемы потенциально эффективнее по

своей депонирующей функции поглощения CO₂, чем лесные: 1 га болот поглощает за год 1,8 тонны углекислого газа и вырабатывает порядка 700 кг кислорода. Можно оценить, что за один год болота Ямало-Ненецкого автономного округа поглощают 21,7 млн тонн углекислого газа (формула 2) независимо от количества солнечных дней. Важно отметить, что поглощенный CO₂ на многие века консервируется в виде торфа, а значит выводится из глобального оборота углерода практически безвозвратно.

Экономическое и промышленное состояние региона. Основной отраслью ЯНАО является добыча полезных ископаемых (рис. 3). К уникальным нефтяным и газовым месторождениям относятся Уренгойское, Медвежье, Ямбургское, Заполярное, Харасавэйское, Бованенское, Холмогорское

⁵ Инвестиционный портал регионов России [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.investinregions.ru/regions/89/statistics/?ysclid=l55qqeqqra177704508>

⁶ «Легкие» нашей планеты: зачем и как нам сохранять болота? [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://amurinfocenter.org/directions/ecologicheskoe-prosvetchenie/legkie-nashey-planety-zachem-i-kak-nam-sokhranyat-bolota/> (Дата обращения: 24.05.2022).

и др. Население оценивается в 3 723,97 тыс. человек на 2019 г.; средний доход на душу населения 95,6 тыс. руб., или в совокупности ВРП — 8 790,44 млрд руб. Согласно структуре промышленности по РФ на долю ЯНАО приходится 35,85% добывающего производства⁷.

Оценка выбросов CO₂ по ЯНАО. Ввиду отсутствия статистики по выбросам в общероссийских статистических ресурсах ОКATO экстраполируем усредненные выбросы по всей РФ на площадь ЯНАО.

$$\text{Выбросы CO}_2 \text{ по ЯНАО} = \frac{\text{Площадь ЯНАО}}{\text{Площадь РФ}} \times \frac{\text{Совокупные}}{\text{по РФ}} \text{ выбросы} \quad (2).$$

Соотношение площади ЯНАО и площади РФ равно 0,04388. Значит, умножив 0,04388 на 2 119,4 млн тонн (данные за 2019 г.)⁸ совокупных выбросов, получаем оценку выброса углекислого газа ЯНАО в размере не менее 93 млн тонн в год.

Оценка поглощения CO₂ по ЯНАО. Из ранее проведенных оценок поглощающую способность лесов и болот ЯНАО можно оценить в (21,7 + 7,52) 29,22 млн тонн в год.

Соответственно, суммарная разница между оценочным значением выбросов CO₂ и поглощающей способностью лесов и болот ЯНАО составляет около 63,78 млн тонн CO₂ в год. Выбросы, например, целой Швейцарии составляют порядка 38 млн тонн, то есть почти в 2 раза меньше⁹.

7. Постановка гипотез

Приведем основные гипотезы:

1. Глобальное потепление может негативно сказаться на болотных экосистемах ЯНАО, сократив депонирующую функцию болот.

2. Изменение климата в целом может не только снизить поглощающую способность болот, но и из-

менить роль болотных территорий с поглотителей парниковых газов на источники их эмиссии.

Изменение климата должно рассматриваться как серьезная угроза для болотных экосистем, так как гидрологические изменения и повышение температуры меняют биохимию болот, влияя на ускорение фотосинтеза поверхностных растений, что в свою очередь может спровоцировать ускоренное высвобождение законсервированного углерода. Болота — это территория с определенным уровнем грунтовых вод в зависимости от сезона. Такие территории существуют везде, кроме Антарктиды.

Заболоченные территории играют важную положительную роль в замедлении изменения климата из-за их способности депонировать парниковые газы — метан, двуокись углерода и закись азота.

Из-за вырубки лесов, лесных пожаров, строительства и осушения болот для формирования сельскохозяйственных земель эти драгоценные запасы углерода разрушаются, что приводит к увеличению выбросов парниковых газов.

Существует неопределенность в оценке того, как болота отреагируют на изменение климата, продолжат ли они депонировать углерод или станут источником его дополнительной эмиссии.

Горение торфяников также является острой проблемой в РФ (рис. 4). Например, только за один день 6 августа 2010 г., по данным МЧС РФ, в России был зарегистрирован 831 очаг пожаров, в их числе 42 торфяных. Число крупных пожаров составило 80 на площади в 150,8 тыс. га. По данным Государственного природоохранного учреждения «Мосэкомониторинг», в Москве в первой половине отмеченного дня максимальная концентрация угарного газа в воздухе превышала допустимую норму в 3,6 раза, содержание взвешенных частиц — в 2,8 раза, специфических углеводородов — в 1,5 раза.

При горении торфа и корней растений могут возникать подземные пожары, распространяющиеся в разных направлениях. Торф может самовозгораться и гореть без доступа воздуха и даже под водой. Над горящими торфяниками возможно образование столбчатых завихрений горячей золы и горячей торфяной пыли, которые при сильном ветре могут переноситься на большие расстояния и вызывать новые загорания или ожоги у людей и животных.

⁷ Прогноз социально-экономического развития Ямало-Ненецкого автономного округа на 2021—2023 гг. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.yanao.ru/deyatelnost/ekonomika-i-finansy/ekonomika/#272> (Дата обращения: 24.05.2022).

⁸ Росстат. Основные показатели охраны окружающей среды. [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2021.pdf

⁹ CO₂ Emissions. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.worldometers.info/co2-emissions/switzerland-co2-emissions/> (Дата обращения: 24.05.2022).

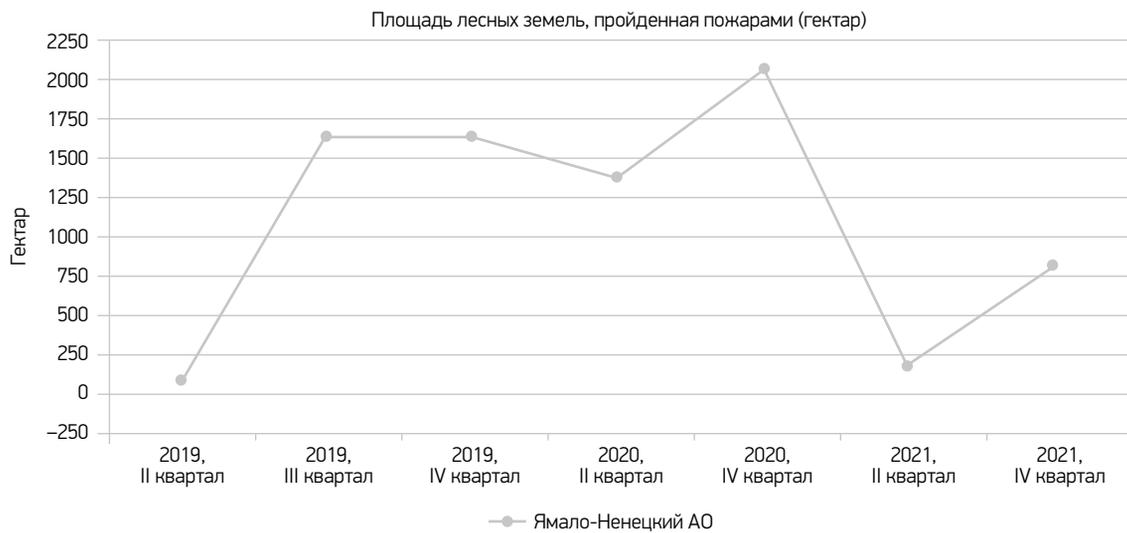


Рис. 4. Площадь пожаров на территории ЯНАО за период 2019—2021 гг. [9]

Figure 4. Fire area on the territory of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug for the period 2019—2021

Важность болот нельзя недооценивать при расчете выбросов углерода, так как, хотя леса и могут поглощать суммарно большие объемы CO₂ в периоды солнечных дней, однако любая органика в виде опавших листьев или стволов погибших деревьев через некоторый промежуток времени начинает разлагаться, и депонированный углерод снова выбрасывается в атмосферу. Заболоченные же области, в которых нет доступа кислорода, не позволяют полностью разлагаться органике и накапливают ее в виде торфа. Толщина пластов торфа может составлять до 10 метров задепонированных остатков органического вещества, изъятых из углеродного оборота на тысячелетия. Торфяники, по последним исследованиям, содержат до 600 млрд тонн углерода, что в 2 раза превосходит поглощение углерода всеми лесами мира [7].

Для последующего анализа важным является количество CO₂, накопленного в болотах. Согласно последним исследованиям американских ученых, при нагревании болот не только снижается депонирующая углеродная функция, но и возникает риск эмиссии накопленного CO₂ с поверхности болот. Консервация болот обеспечивается тремя основными свойствами окружающей среды: кислотной реакцией среды, относительно низкими температурами и высокой влажностью.

По мнению ряда ученых, глобальное потепление приведет к ускорению разложения верхних слоев торфа, что, соответственно, вызовет высвобождение задепонированного углерода в атмосферу [10].

Как правило, болотные экосистемы имеют тенденцию действовать как «поглотители углерода» из-за значительной накапливаемой растительной биомассы, активности водорослей и почв. С помощью этой растительности регулируются такие процессы, как анаэробное разложение с образованием метана и закиси азота. Значит, нагревание почвы в заболоченных местах может привести к выбросу метана. Вместе с тем способность поглощать и связывать углерод широко варьируется в зависимости от типа водно-болотных территорий, температуры и наличия воды.

Основная проблема заключается в том, что, если огромное количество углерода, хранящегося в водно-болотных территориях, высвобождается в результате деятельности человека, это способствует глобальному потеплению. Именно это и происходит при уничтожении торфяников в Индонезии. В Индонезии площадь, покрытая торфяниками, оценивалась в 15 млн га, однако половина из них на данный момент считается осушенной [11]. Повышение температуры почвы является одним из факторов,

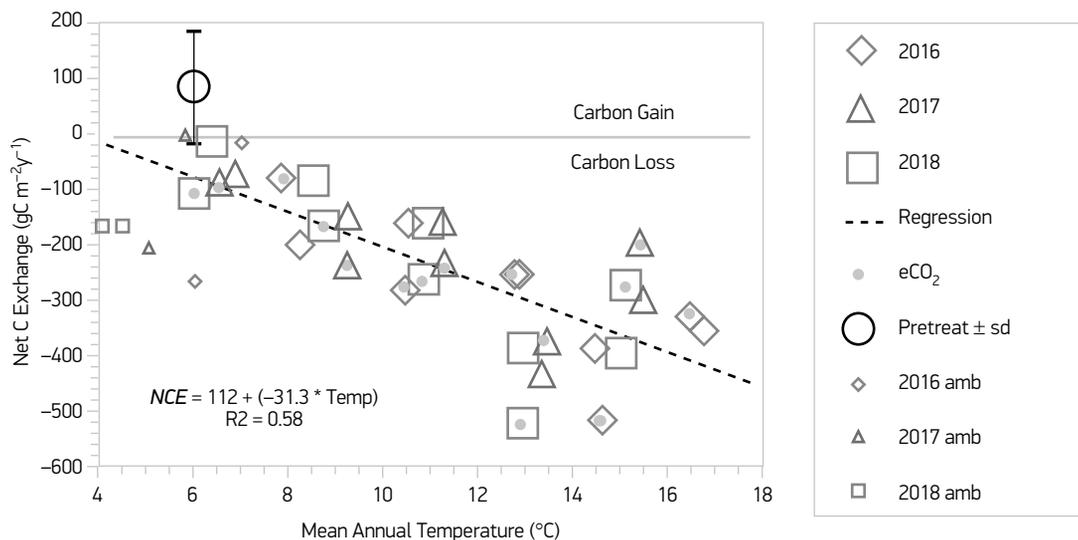


Рис. 5. Линейная регрессия изменения углерода в стоке¹⁰

Figure 5. Linear regression of change in carbon in effluent

усугубляющих выделение метана, что вызывает беспокойство специалистов, если учесть, что глобальное потепление вызывает повышение температуры почвы в том числе.

Глобальное изменение температуры создает более теплый и сухой климат вокруг зон распространения болот, нарушая два из трех условий консервации углекислого газа (см. выше), что разрушает устойчивость болотных экосистем и может приводить к высвобождению парниковых газов в атмосферу. В процессе осушения почвы снижение уровней грунтовых вод способствует прогреванию почвы, увеличивает в них биологическую активность, тем самым способствуя эмиссии CO₂. Удаление воды из водно-болотных угодий вызывает появление риска того, что кислород может достичь ранее затопленных органических веществ. Это приводит к большим выбросам углекислого газа по мере окисления органического вещества.

В ходе исследования, упомянутого выше, была поставлена и проверена гипотеза потери углерода с одного квадратного метра поверхности болот при повышении температуры окружающей среды. Уровень значимости составил 0,0001 (рис. 5). Таким

образом, в ходе эксперимента была подтверждена статистически значимая (99,5%) взаимосвязь нагревания климата и эмиссии парниковых газов болотными экосистемами. В среднем за год болота выделяли по 31,3 грамма углерода с одного квадратного метра поверхности при повышении температуры на 2,25 °C, и при дальнейшем повышении температуры возрастала и эмиссия углеродного выброса [12].

Практические последствия приведенных выше результатов к Ямало-Ненецкому автономному округу

Динамика климатического режима региона свидетельствует о повсеместном росте среднегодовой температуры с более высокой скоростью, чем в остальных регионах РФ. Интенсивность потепления изменяется с севера на юг и составляет от 0,16 °C/год на севере до 0,08 °C/год на юге, т. е. в среднем температура растет со скоростью 0,12 °C/год и наблюдается статистически значимый рост темпов роста температуры, что подтверждает гипотезу о том, что климат становится теплее [13].

С помощью базовых математических расчетов (формула 3) нетрудно вычислить, что через 18,75 года температура в ЯНАО возрастет на 2,25 °C, что может привести к обратной эмиссии

¹⁰ Final Report: Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures. June 2017.

парниковых газов с территории современных болотных территорий в атмосферу.

$$\text{Количество лет} = \frac{2,25 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Температура потепления}} .$$

$$18,75 \text{ года} = \frac{2,25 \text{ }^\circ\text{C}}{0,12} . \quad (3)$$

Принимая во внимание площадь поверхности болотных экосистем (см. выше) в размере 12 047,3 тыс. га, при испарении 31,3 грамма CO₂ с квадратного метра в год суммарная эмиссия составит 3,77 млн тонн углерода в год. Необходимо также учесть посчитанную нами ранее поглощающую способность болот, это означает, что 21,7 млн тонн углекислого газа ежегодно может перестать депонироваться. В таком случае ситуация становится критической, и количество непоглощенных выбросов CO₂ в ЯНАО составит 67,55 млн тонн, если болота продолжают поглощать и депонировать парниковые газы, и 89,25 млн тонн, если болота превратятся в источник эмиссии.

Одновременно обратим внимание и на ключевую роль болот в процессе термофореза: при повышении температуры термофорез замедлится, что потенциально негативно скажется на экосистеме в целом и может привести к непредсказуемым последствиям.

По полученным результатам можно утверждать, что ситуация с углеродной нейтральностью в регионе критическая, и при прочих равных условиях через 18,5 года ежегодный непоглощенный остаток в 63,78 млн тонн углекислого газа превратится в 89,25 млн тонн, то есть увеличится на 40% только вследствие снижения поглощающей способности местных болотных экосистем и без учета потерь в виде сопутствующих лесных и торфяных пожаров. Вышеприведенные расчеты подтверждают гипотезу о том, что глобальное потепление сопровождается увеличением выбросов углекислого газа в атмосферу за счет превращения болот в источники эмиссии углерода вместо углеродного депо при повышении температуры.

8. Описание климатических рисков, их группы, влияние на экономику

Мир столкнулся с новыми значительными рисками, которые будут оказывать влияние на мировое сообщество в течение следующих лет — это климатические риски¹¹. В них включают риски экстремальных погодных явлений, стихийных бедствий, неуспешной минимизации последствий климатических изменений и приспособления к ним. Наиболее уязвимыми к этим видам рисков отраслями являются агропродовольственный сектор, строительство, торговля, энергетика, туризм и транспортный сектор.

Также возникает косвенный климатический риск, связанный с переходом мировой экономики к углеродной нейтральности. Международное сообщество подталкивает экономику к такому «зеленому» переходу, в связи с чем правительства многих стран разрабатывают запреты или ограничения на инвестиции в отрасли с высоким углеродным следом или компании, которые не придерживаются принципов ESG (Environmental, Social and Governance, ESG).

Так, например, финансовые организации могут столкнуться с риском внезапного удешевления стоимости инвестиционных портфелей, если акционерная стоимость компаний будет падать, например, из-за репутационных потерь, связанных с ESG-трансформацией¹².

Страховые организации особенно подвержены косвенным климатическим рискам, так как их основная деятельность связана с покрытием потерь, которые несут клиенты компании в связи с экстремальными погодными явлениями и стихийными бедствиями. В связи с увеличением частоты, ухудшением последствий природных катастроф и эпидемиологических условий возможно увеличение выплат по страховым случаям и увеличение стоимости страховых полисов или даже принятие решения об отказе в предоставлении страховых услуг в определенных отраслях или регионах. Таким образом, реальный

¹¹ The Global Risks Report 2020 / World Economic Forum, in partnership with Marsh & McLennan companies and Zurich Insurance Group.

¹² Влияние климатических рисков и устойчивое развитие финансового сектора Российской Федерации. [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/108263/Consultation_Paper_200608.pdf (Дата обращения: 01.05.2022).

сектор будет нести еще большие потери в связи с отсутствием страхового покрытия, если претворятся в жизнь наихудшие климатические прогнозы. Более того, возможен отказ страховщиков от работы с компаниями, не придерживающихся концепции ESG, что связано с репутационными рисками обеих сторон. Совокупность данных факторов может привести к снижению спроса на страховые услуги и снижению уровня страховой защиты общества.

Традиционно климатические риски разделяют на следующие группы¹³:

- физические риски (physical risks) — все риски, связанные напрямую с природными явлениями, которые являются следствием изменения климата. Они также подразделяются на экстренные риски (acute risk) и систематические риски (chronic risk). Первые связаны с внезапными климатическими явлениями и событиями, а вторые — с изменением климата в долгосрочной перспективе;

- риски перехода (transition risks) — косвенные риски, связанные не с самим изменением климата и явлениями, а с влиянием экономического перехода к «зеленой» экономике. В данную группу входят политические и правовые (policy and legal risks), технологические (technology risk), рыночные (market risk) и репутационные риски (reputation risk).

В России физические риски связаны с последствиями увеличения масштабов и частоты наводнений, лесных пожаров, аномальной жарой и таянием вечной мерзлоты. Основные риски перехода — политические и регуляторные реформы в отношении отраслей с высокими углеродными выбросами, в том числе энергетики, транспорта и промышленности.

9. Социальные, промышленные риски и риски лесных пожаров, их оценка

Глобальное потепление несет в себе риски не только для природы и экономики. Изменения климата оказывают сильное влияние и на здоровье людей. Особо подверженные группы — дети, женщины, пожилые люди и беднейшие слои населения планеты. Экстремально высокие температуры негативно воздействуют на множество органов человека: от этого в большей степени страдают сердце, почки, легкие. Из-за повы-

¹³ Final Report: Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures. June 2017.

шения средних температур миллионы детей рождаются раньше срока, что может привести к осложнениям и повысить детскую смертность. Сезон аллергии удлинится, а ею страдают около 30% населения. Более того, инфекционные заболевания распространяются быстрее из-за более благоприятных условий для насекомых-переносчиков все в новых регионах [14].

По оценкам ВОЗ¹⁴, глобальное потепление будет уносить жизни около 250 тыс. человек в год в период с 2030 по 2050 г. Здоровье населения требует преобразований во всех секторах экономики, особенно в энергетике, транспорте, финансах и продовольственном секторе.

Итогом нашего исследования стало подтверждение гипотезы о том, что повышение температур приведет к превращению болот из поглотителей парниковых газов в их продуцентов, что в совокупности с общими трендами глобального потепления повлечет еще более серьезные последствия для ЯНАО и схожих с ним регионов.

Количество парниковых газов и увеличение температур приведут к ухудшению условий труда и жизни в ЯНАО. Это может привести к оттоку трудоспособного населения из региона, который и в текущем регулировании включен в список местностей с особыми климатическими условиями: для ЯНАО применяются районные коэффициенты и надбавки к заработной плате — от 1,3 до 1,8 в зависимости от вида работ и территории проживания¹⁵. В ЯНАО, по данным ЦБ, только за 2021 г. страховые премии по договорам ДМС составили примерно 1,3 млрд руб., при этом около 80%, или в денежном выражении около 1 млрд руб., приходится на коммерческое страхование¹⁶. Климатические изменения повлекут как пересмотр законодательства по оплате труда в данном регионе, так и повышение тарифов на страхование. А в связи с этим промышленным компаниям региона придется повышать свои расходы на привлечение работников: увеличение зарплат и/или покупка более

¹⁴ Изменение климата и здоровье. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health> (Дата обращения: 05.05.2022).

¹⁵ Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 2022 г. Ст. 148 с изм. и допол. в ред. от 25.02.2022.

¹⁶ Статистика / Банк России. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.cbr.ru/statistics/insurance/> (Дата обращения: 11.05.2022).

дорогих полисов ДМС. Все это дополнительные затраты для экономических агентов, связанные только с влиянием таких изменений на здоровье людей.

Экономическим агентам, вовлеченным в агробизнес, также придется столкнуться с потерей устойчивости. Климатические изменения могут привести либо к невозможности осуществления прежнего процесса, либо к существенным модификациям внутри него. Внедрение новых технологий — еще большие дополнительные расходы для бизнеса таких регионов, как ЯНАО.

Повышение температуры сильнее всего ощущается на полюсах нашей планеты, в связи с чем все быстрее тают льды и вечная мерзлота, как было описано выше. Около 75% нефти и газа в России добывается в северных регионах, где преобладала вечная мерзлота. Все эти предприятия оказались в зоне риска¹⁷. По данным агентства Bloomberg, на полуострове Ямал несущая способность грунта может снизиться на 25—50% к 2025 г.¹⁸ В России из-за таяния вечной мерзлоты в зоне риска оказалась одна пятая часть всей нефтегазовой инфраструктуры, или в денежном выражении это около 84 млрд долл. США — 7,5% от ВВП России, без учета экологического вреда¹⁹. По оценкам Минвостокразвития РФ, потенциально убытки для России вследствие деградации вечной мерзлоты могут составить от 50 до 150 млрд руб. в год [15].

Таяние вечной мерзлоты приводит к коррозии и повреждениям в шахтах, появлению трещин и утечек. Опоры трубопроводов также подвержены коррозии и деформации вследствие оседания грунта. Нефтегазовая отрасль требует дополнительных расходов на внедрение новых технологий, которые помогут снизить себестоимость добычи и увеличат

рентабельность. Экологические риски катастроф в связи с таянием вечной мерзлоты также остаются расходной статьей экономических агентов, занятых в данном секторе экономики.

Только из-за учащения в 2020 г. лесных пожаров правительство выделило суммарно 2,6 млрд руб. из резервного фонда. Рослесхоз направил наиболее пострадавшим субъектам 450 млн руб. из своего резерва. В рамках нацпроекта «Экология» в регионы поставлено более 5 тыс. единиц лесопожарной техники и оборудования [16].

Заключение

В заключение можно сделать вывод о том, что климатические риски, в том числе влияющие на поглощающую CO₂ способность болот, оказывают существенное влияние на устойчивое развитие региона и экономических агентов в ЯНАО.

Литература [References]

1. Бабиков Б.В., Кобак К.И. Поглощение атмосферного углекислого газа болотными экосистемами территории России в голоцене. Проблемы заболачивания // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 1(349). С. 6—36, DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.1.9 [Babikov B.V., Kobak K.I. Absorption of atmospheric carbon dioxide by swamp ecosystems of the territory of Russia in the Holocene. Waterlogging problems // Russian Forestry Journal. 2016;(1(349)):6-36, (in Russ.), DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.1.9]
2. Инишева Л. И., Сергеева М. А., Смирнов О. Н. Депонирование и эмиссия углерода болотами Западной Сибири // Научный диалог. 2012. № 7. С. 61—74 [Inisheva L.I., Sergeeva M.A., Smirnov O.N. Carbon deposition and emission by bogs of Western Siberia. // Nauchnyi Dialog. 2012;(7):61-74, (In Russ.)]
3. Новик Майя. Васюганские болота — топ-5 шокирующих фактов о самой большой топи в мире. [Электронный ресурс] <https://cyrillitsa.ru/sovremennost/83527-vasyuganskies-bolota-top-5-shokiruyushhikh-fa.html> (Дата обращения: 20.05.2022) [Novik Maya. Vasyugan Marshes Top 5 Shocking Facts About World's Biggest Top. [Electronic resource] <https://cyrillitsa.ru/sovremennost/83527-vasyuganskies-bolota-top-5-shokiruyushhikh-fa.html>, (In Russ.), (Accessed: 20.05.2020)]

¹⁷ Таяние вечной мерзлоты: риски и пути выхода для нефтегазового сектора. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://dprrom.online/oilngas/tayanie-vechnoj-merzloty-dlya-neftegazaz/> (Дата обращения: 10.05.2022).

¹⁸ Climate change: Russia's oil and gas heartlands are under threat. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2019-09-29/climate-change-russia-s-oil-and-gas-heartlands-are-under-threat> (Дата обращения: 10.05.2022).

¹⁹ Russia's thawing permafrost may cost economy 2-3 billion a year. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-10-18/russia-s-thawing-permafrost-may-cost-economy-2-3-billion-a-year#xj4y7vzkg> (Дата обращения: 10.05.2022).

4. Константин Куцылло. Там, где ведутся разработки торфа, пожаров не бывает. [Электронный ресурс] https://www.rosugol.ru/news/articles.php?ELEMENT_ID=9369 (Дата обращения: 20.05.2022) [Konstantin Kutsyllo. There are no fires where peat is being developed. [Electronic resource] https://www.rosugol.ru/news/articles.php?ELEMENT_ID=9369, (In Russ.), (Accessed: 20.05.2020)]
5. Michal Antala Radoslaw Juszczak Christiaan van der Tol Anshu Rastogi. Impact of climate change-induced alterations in peatland vegetation phenology and composition on carbon balance // *Science of the Total Environment*. 2021;827:2-11, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154294>
6. Walker, T.N., Ward, S.E., Ostle, N.J. et al. Contrasting growth responses of dominant peatland plants to warming and vegetation composition. *Oecologia* 178, 141–151 (2015). <https://doi.org/10.1007/s00442-015-3254-1>
7. Gorham E. Northern Peatlands: Role in the Carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming. *Ecol Appl*. 1991 May;1(2):182-195. doi: 10.2307/1941811.
8. Павлюшина В., Музыченко Е., Хейфец Е., Хейфец Е. Экология и экономика: тенденция к декарбонизации // Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. 2020. № 66, [Электронный ресурс] <https://e-cis.info/upload/iblock/520/520a5eee087274f9007f341e5865b0b3.pdf> (Дата обращения: 24.05.2022). [Pavlyushina V., Muzychenko E., Kheifets E., Kheifets E. Ecology and Economics: A Tendency to Decarbonization // *Bulletin on Current Trends in the Russian Economy*. 2020;(66) [Electronic resource] <https://e-cis.info/upload/iblock/520/520a5eee087274f9007f341e5865b0b3.pdf> (In Russ.), (Accessed: 24.05.2022)]
9. Бойко М.В. Число лесных пожаров. [Электронный ресурс] <https://www.fedstat.ru/indicator/31580> (Дата обращения: 24.05.2022). [Boyko M.V. Number of forest fires. [Electronic resource] <https://www.fedstat.ru/indicator/31580> (In Russ.), (Accessed: 24.05.2022)]
10. Залесов С.В. Роль болот в депонировании углерода // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021. № 7-2 (109) С. 6-9. DOI: 10.23670/IRJ.2021.109.7.033 [Zalesov S.V. The role of swamps in carbon sequestration // *International Research Journal*. 2021;(7-2(109)):6-9, (In Russ.), DOI: 10.23670/IRJ.2021.109.7.033]
11. Hooijer A., Page S., Canadell J.G., Silvius M., Kwadijk J., Wösten, H., and Jauhiainen, J.: Current and future CO₂ emissions from drained peatlands in Southeast Asia, *Biogeosciences*, 7, 1505–1514, <https://doi.org/10.5194/bg-7-1505-2010>, 2010.
12. Hanson, Paul J.; Griffiths, Natalie A.; Iversen, Colleen M.; Norby, Richard J.; Sebestyen, Stephen D.; Phillips, Jana R.; Chanton, Jeffrey P.; Kolka, Randall K.; Malhotra, Avni; Oleheiser, Keith C.; Warren, Jeffrey M.; Shi, Xiaoying; Yang, Xiaojuan; Mao, Jiafu; Ricciuto, Daniel M. 2020. Rapid Net Carbon Loss From a Whole-Ecosystem Warmed Peatland. *AGU Advances*. 1(3): e2020AV000163. 18 p. <https://doi.org/10.1029/2020av000163>.
13. Симакин, М. Д. Динамика климатического режима ЯНАО [Электронный ресурс] <https://nauchkor.ru/uploads/documents/5d669ab77966e1054cbb7a2f.pdf> (Дата обращения: 24.05.2022). [Simakin, M. D. Dynamics of the climate regime of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. [Electronic resource] <https://nauchkor.ru/uploads/documents/5d669ab77966e1054cbb7a2f.pdf>, (Accessed: 24.05.2022)]
14. Строителева М. Припекает. Как глобальное потепление разрушает здоровье людей? [Электронный ресурс]: <https://lenta.ru/articles/2022/03/26/zdorov/> (Дата обращения: 05.05.2022). [Stroiteleva M. Pripekhet. How is global warming destroying people's health? [Electronic resource] <https://lenta.ru/articles/2022/03/26/zdorov/>, (In Russ.), (Accessed: 05.05.2022)]
15. Калюков Е. Ущерб России от таяния вечной мерзлоты оценили в 150 млрд руб. в год. [Электронный ресурс] <https://www.rbc.ru/economics/18/10/2019/5da9b5c79a7947a24d16714d> (Дата обращения: 10.05.2022). [Kalyukov E. The damage to Russia from the melting of permafrost was estimated at 150 billion rubles in year. [Electronic resource] <https://www.rbc.ru/economics/18/10/2019/5da9b5c79a7947a24d16714d>, (In Russ.), (Accessed: 10.05.2022)]
16. Ивановский Б.Г. Экономическая оценка ущерба от природных бедствий и изменений климата // *Экономические и социальные проблемы России*. 2021. № 1(45). С. 125—144, DOI: 10.31249/espr/2021.01.07 [Ivanovskiy B.G. Economic assessment of natural disasters and climate change damage // *Economic And Social Problems of Russia*. 2021;(1(45)):125-144, (In Russ.), DOI: 10.31249/espr/2021.01.07]
17. Кирпотин С.Н. Болотный «кондиционер» планеты // *Наука из первых рук*. 2021. № 3-4(92). С. 78—93. [Kirpotin S.N. Bolotny "air conditioner" of the planet // *First-hand science*. 2021;(3-4(92)):78-93, (In Russ.)]

Сведения об авторах

Андреева Анастасия Сергеевна: студент первого курса магистратуры факультета международных экономических отношений, МГИМО МИД России
ans17041999@gmail.com

Колокольцев Алексей Михайлович: студент первого курса магистратуры факультета международных экономических отношений, МГИМО МИД России
kolokolcev.94@mail.ru

Трухляев Эдуард Алексеевич: студент первого курса магистратуры факультета международных экономических отношений, МГИМО МИД России
eduard578@mail.ru

Научный руководитель:

Турбина Капитолина Евгеньевна: доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой управления рисками и страхования МГИМО МИД России

Статья поступила в редакцию: 07.06.2022

Одобрена после рецензирования: 15.07.2022

Принята к публикации: 19.07.2022

Дата публикации: 31.08.2022

The article was submitted: 07.06.2022

Approved after reviewing: 15.07.2022

Accepted for publication: 19.07.2022

Date of publication: 31.08.2022