DOI: 10.24412/2782-3237-2024-3-4-38-55 УДК 57.044: 57.045

Воздействие климатических факторов на состояние модельных древостоев Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника

Шерстнева Е.А.[1, 2], *Максимова О.В.*[1, 3], *Кухта А.Е.*[1)*], *Тихонова И.О.*[2]

[1)]ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля», Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, 20Б

[2)]Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Россия, 125047, Москва, Миусская площадь, д. 9, стр. 1

[3)]Университет МИСИС, Россия, 119049, Москва, Ленинский пр-кт, 4

*Адрес для переписки: *anna_koukhta@mail.ru*

Реферат. На материале модельных древостоев ели европейской *Picea abies* (L.) Karst и сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. стационара Международной совместной программы комплексного мониторинга влияния загрязнения воздуха на экосистемы (МСП КМ), расположенного на территории Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника, выполнена оценка отклика деревьев на воздействие климатических и гидрологических факторов. При сборе натурных данных использованы методы биоиндикации. Статистическая обработка полученного материала проводилась с использованием пакета *Excel* 2016. Для выявления связей между рядами параметров состояния крон деревьев и значений абиотических компонентов биогеоценозов применялся корреляционный анализ. Обнаружено, что лимитирующими факторами для развития фотосинтезирующего аппарата хвойных пород в регионе являются количество осадков и уровень вод водоёмов и водотоков. Сделан вывод о необходимости учитывать параметры местообитаний и факторы, лимитирующие развитие деревьев при осуществлении мониторинга загрязнения природных экосистем.

Ключевые слова. Ель европейская, сосна обыкновенная, дефолиация, депигментация, лесные экосистемы, климатические факторы, осадки, уровень вод.

The impact of climatic factors on the state of model stands of the Central Forest state natural biosphere resrve

Sherstneva E.A.[1, 2], *Maksimova O.V.* [1, 3], *Koukhta A.E.*[1)*], *Tikhonova I.O.*[2]

[1)]Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, 20B, Glebovskaya str., 107058, Moscow, Russian Federation

[2)]Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 9, Miusskaya square, 125047, Moscow, Russian Federation

[3)]University of Science and Technology,
4, Leninsky pr., Moscow, 119049, Russian Federation

*Correspondence address: *anna_koukhta@mail.ru*

Abstract. Based on the material of model stands of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst and Scots pine *Pinus sylvestris* L. of the site of the International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems (ICP IM), located on the territory of the Central-Forest State Natural Biosphere Reserve, the response of trees to the impact of climatic and hydrological factors was assessed. Bioindication methods were used to collect field data. Statistical processing of the obtained material was carried out using Excel 2016 package. Correlation analysis was used to identify relationships between the series of tree crown condition parameters and values of abiotic components of biogeocenoses. It was found that the limiting factors for the development of photosynthetic apparatus of coniferous species in the region are the amount of precipitation and water content of water bodies and watercourses. It is concluded that it is necessary to take into account habitat parameters and limiting factors limiting the development of bioindicators when monitoring the pollution of natural ecosystems.

Keywords. European spruce, Scots pine, defoliation, depigmentation, forest ecosystems, climatic factors, precipitation, water availability.

Введение

В последние десятилетия вследствие изменений климата и антропогенного загрязнения окружающей среды задача оценки и прогнозирования состояния лесных экосистем приобретает всё бóльшую актуальность. В Российской Федерации для решения этой проблемы наряду с другими национальными и международными проектами выполняется Международная совместная программа комплексного мониторинга влияния загрязнения воздуха на экосистемы (МСП КМ), выполняемая под эгидой Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния Экономической комиссии ООН для Европы.

В Российской Федерации координатором и исполнителем МСП КМ является ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» (ИГКЭ), в котором организован Национальный научно-координационный центр (ННКЦ) программы, в обязанности которого входит сбор и обработка первичного материала, собранного на сети стационаров, а также представление результатов в международный центр данных (Уппсала, Швеция) (http://www.igce.ru/performance/international/icp-im/). Стационары сети МСП КМ на территории России расположены на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) федерального и регионального значения.

Для корректной оценки состояния природных биоценозов и успешного прогнозирования его изменений необходимо разрабатывать методы в рамках методологии МСП КМ, позволяющие определять факторы, лимитирующие рост и развитие биологических объектов, а также выявлять последствия как

антропогенных, так и природных воздействий на экосистемы. Для обнаружения указанных закономерностей Руководством по комплексному мониторингу (Руководство…, 2013) рекомендуются методы биоиндикации (в частности, по степени дефолиации и депигментации листвы/хвои деревьев).

В рамках решения данной проблемы ранее на территории стационара МСП КМ, расположенного в Центрально-Лесном государственном природном биосферном заповеднике (ЦЛГЗ), были проведены работы по определению откликов модельных древостоев на поступление ряда химических соединений с трансграничным атмосферным переносом (Кухта, Пчелкин, Полещук, 2018).

Анализ связи рядов значений дефолиации и депигментации хвойных пород (показателей состояния фотосинтезирующего аппарата деревьев) и выпадений химических соединений, попадающих в экосистемы заповедника вследствие трансграничного переноса, позволил предположить, что значимый негативный эффект воздействия на экосистемы заповедника отсутствует. Для дефолиации *Pinus sylvestris* L. получены значимые отрицательные корреляции с некоторыми химическими соединениями, которые говорят о возможном положительном воздействии соединений, попадающих на территорию заповедника с трансграничным переносом, на состояние крон сосняков (Кухта, Пчелкин, Полещук, 2018). Такие результаты, скорее всего, связаны с бедностью почв местообитаний сосны, для древостоев которой дополнительные поступления соединений азота, серы и т.д. играют роль удобрений (макро- и микроэлементов). Для ели европейской *Picea abies* (L.) Karst. значимых корреляций дефолиации и депигментации с выпадениями химических веществ не обнаружено. Ель же обитает на более богатых субстратах и не испытывает дефицита указанных соединений (Кухта, Пчелкин, Полещук, 2018).

Таким образом, усиление дефолиации и депигментации крон рассматриваемых пород, наиболее вероятно, не связано с выпадениями химических соединений, попадающих на территорию ЦЛГЗ с трансграничным переносом, а может быть частью отклика на воздействие именно региональных экологических (в частности, климатических и гидрологических) факторов в рассматриваемых биогеоценозах, а не трансграничного загрязнения. Целью данной работы является выявление связей между параметрами состояния крон деревьев и метеопараметрами (температурами, суммами осадков), а также уровней воды водотоков и водоемов территории.

Методы и материалы

Исследования проводились на стационаре МСП КМ, заложенном на территории Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника (56°26´ в.д., 56°31´ с. ш). По климатическому районированию Б.П. Алисова заповедник расположен в атлантико-континентальной лесной области, юго-западной подобласти умеренного пояса (Алисов, 1956). Территория характеризуется положительным балансом влаги, (гидротермический

коэффициент составляет 1.2; летом его значение может снижаться до 0.5-0.9) (http://clgz.ru/?page_id=2803). Растительность ЦЛГЗ характерна для южно-таёжного биома.

Б
Л
А
С
В
Л
Ш
Е
Н
Н
запов.
Центрально-Лесной
(биосферный)
Сычёво
Михайлово
Мошеры
Горка
Бородино
Лукьяново
Мажаево
Малахово
Кавшин
Башево
Черная
Ранцево
Холзуево
Гришино
Тверское
Дубовка
Хитицы
Бол. Мошки
Болотниково
Бол. Кашино
Борисовка
Сосновка
Хмелевка
Жегорино
Ключевая
Каменка
Тарусы
Машутино
Кожухово
Борыгино
Можайка
Тислино
Требески
Никитино
Замошье
Макруша
Столовая
Маковье
Мохонрово
Коровалово
Высокое
Колесня
Белейка
Перевоз
Казинники
Рябиновка
Ильюшино
Бутаки
Бол. Чернушка
Можайка
Запорожный
Бол. Феодосьевское
Песочня
Бол. Кукушкино
Ям-Ст
Кадиш
Азанов
Безобр
Холмец
Бол. Ка
Бутовка
Сосновка
Пушкина
Ноинка
Гривка
Ждуна
Жуна
Ждуна
Ждуна
Жд

Рисунок 2. Пробная площадь № 1, ель обыкновенная *P. abies*, водоохранная зона р. Межа

Figure 2. Sample area No. 1, common spruce P. abies, water protection zone of the river Mezha

Рисунок 3. Пробная площадь № 2, сосна обыкновенная *P. sylvestris*, окраина болота Старосельский мох

Figure 3. Sample area No. 2, common pine *P. sylvestris*, the outskirts of the marsh Staroselsky moss

Оценка состояния модельных древостоев проводилась методом биоиндикации по степени дефолиации и депигментации листвы/хвои деревьев. Указанные параметры определялись по методике, представленной в Руководстве (Руководство.., 2013). Оценка дефолиации (потери листвы/хвои в изучаемой кроне в сравнении с воображаемым, полностью покрытым листвой/хвоей деревом той же породы) и депигментации (отклонение от обычной окраски живой листвы/хвои рассматриваемых пород) осуществляется визуально, с шагом 5%.

Измерения на пробных площадях проводились ежегодно, в августе-сентябре, начиная с 2009 г. Для анализа использован ряд данных за 2009-2022 гг.

Для анализа связей рядов дефолиации и депигментации с метеопараметрами были использованы массивы измерений температур воздуха и осадков двух метеостанций: метеостанция Тверского центра гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды «Лесной заповедник», метеорологическая станция II разряда «Торопец» (М-II Торопец) (Булыгина, Разуваев, Александрова, 2014, Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942). Необходимость использования двух источников метеоданных объясняется неполнотой рядов температур, измеренных на метеостанции «Лесной заповедник». Метеостанция «Торопец» отделена от стационара расстоянием, равным около 100 км (по прямой), но обе метеостанции находятся в одной климатической области – в атлантико-континентальной европейской области умеренного пояса. На рис. 4 представлены ряды суммарных осадков вегетационных сезонов по обеим станциям, на основании сходств которых тем более возможно судить и о сходстве измеренных на них температурах. Применялись средние показатели за вегетационный сезон (апрель-сентябрь) для температур и суммарные показатели по выпадениям осадков за указанный период.

Старосельский мох – верховое болото в Нелидовском районе в Тверской области площадью 617 га. Болото является водораздельным, естественным и ненарушенным. Из его западной части вытекает р. Межа – приток р. Западная Двина, а из восточной части – р. Тудовка, приток р. Волги.

Река Межа – основная водная артерия Нелидовского округа Тверской области, является одной из крупных рек ЦЛГЗ, её длина – 259 км (в т.ч. 44.44 км в пределах ООПТ), площадь бассейна – 9080 км².

Сотрудниками заповедника ежегодно проводятся измерения значений уровня воды реки Межа и уровня вод болота Старосельский мох. Результаты размещаются в открытом доступе в Летописях природы на сайте ЦЛГЗ (https://clgz.ru/node/19216). Для 2009-2022 гг. была рассчитана ежегодная сумма осадков за вегетационный сезон (апрель-сентябрь), т.к. именно в указанный период у деревьев происходят основные физиологические процессы.

Пробная площадь 1 с древостоем ели расположена на водосборе р. Межа, а пробная площадь 2 с древостоем сосны – на окраине болота Старосельский мох. Следовательно, проводились сравнения рядов параметров состояния крон ели и уровня воды р. Межа, а также состояния крон сосны и уровня вод болота Старосельский мох.

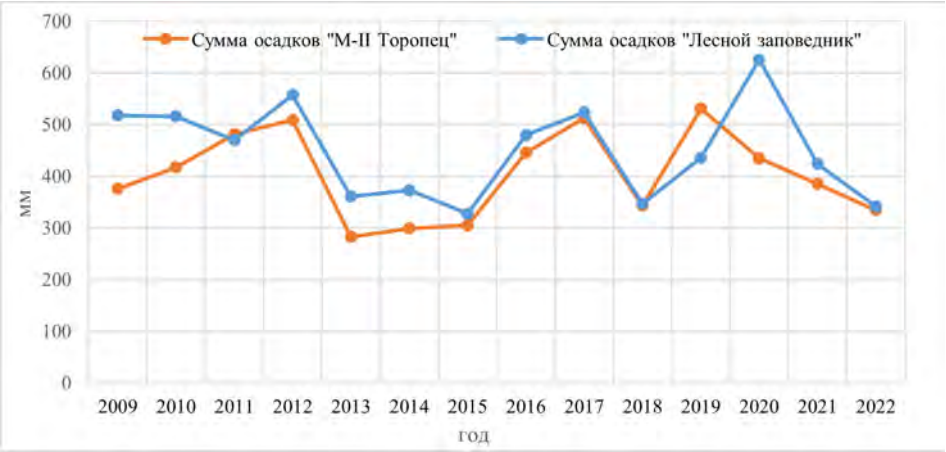

Рисунок 4. Суммы осадков вегетационных сезонов, измеренных на метеостанциях «М-II Торопец» и «Лесной заповедник»

Figure 4. Precipitation totals of the growing seasons measured at the meteorological stations "M-II Toropets" and "Forest Reserve"

Связь динамик рядов значений дефолиации и депигментации деревьев от температур, осадков и уровней вод р. Межа и болота Старосельский мох оценивались методом корреляционного анализа (определялся коэффициент Пирсона). Данные операции производились с помощью пакета *Excel* 2016. Графические материалы также были разработаны с помощью указанного пакета.

Результаты и обсуждение

Для выявления отклика параметров состояния крон сосны и ели на воздействие факторов среды привлекались ряды средних температур, сумм осадков, средних уровней вод р. Межа и болота Старосельский мох текущего и предыдущего вегетационных сезонов. Анализ рядов абиотических данных за предшествующий год необходим, так как именно в этот период закладываются почки возобновления, обеспечивающие развитие кроны на следующий год (Кухта, 2009; Максимова, Кухта, 2022; Chernogaeva, Kuhta, 2018; Gavrikov, Karlin, 1993).

Результаты корреляционного анализа связи дефолиации и депигментации ели и сосны на пробных площадях со средними температурами, суммами осадков и средними значениями уровней вод за текущий вегетационный сезон представлены в табл. 1, а в табл. 2 – со средними значениями предыдущего вегетационного сезона (корреляция r = 0.46 – статистически значима[1)], на уровне 10% (Большев, Смирнов 1983); в таблице выделены близкие к это-

[1)]Проверка статистической значимости по критерию Пирсона проводилась в предположении нормального распределения рассматриваемых признаков, проверка которой затруднена на малых выборках. Однако, авторами проводилась такая проверка на больших массивах заповедника «Полярный круг», которая дала положительные результаты. Ввиду этого, в настоящем исследовании полученные результаты экстраполированы на показатели модельных древостоев ЦЛГЗ.

му значения). Как было указано выше, модельный древостой ели (пробная площадь 1) размещен рядом с р. Межа, а модельный древостой сосны (пробная площадь 2) – на окраине болота Старосельский мох. Следовательно, выявлялись корреляции параметров состояния крон ели и значений уровня вод р. Межа, а также сосны и значений уровня вод болота Старосельский мох. Между уровнем вод болота Старосельский мох, где произрастает сосна, и суммарными осадками как текущего, так и предшествующего, вегетационных сезонов выявлена заметная положительная корреляционная связь. Следовательно, уровень воды гидрографической сети, включающей болото, связан в значительной степени с количеством осадков текущего и предыдущего года, которые аккумулируются в водоемах и водотоках и определяют гидрологический режим территории в текущем вегетационном сезоне. Тем самым определяется характер развития крон сосны в текущем году и её возможности адаптации к доступности почвенной влаге. Таким образом, для выявления самостоятельной связи дефолиации и депигментации сосны с суммарными осадками и уровнем вод болота рассчитывались частные коэффициенты корреляции[2)] (в табл. 1, 2 имеют пометку «частный»).

Таблица 1. Коэффициенты корреляции (*r*), характеризующие связи средних по пробным площадям значений дефолиации и депигментации древостоев и климатических факторов, а также уровня вод текущего вегетационного сезона (выделены близкие к значимым на уровне 10% коэффициенты)

Table 1. Correlation coefficients (*r*) characterizing relationships between average values of stands defoliation and depigmentation and climatic factors, as well as water level of the current growing season (close to significant at 10% coefficients are highlighted)

Параметр состояния кроны	**Суммы осадков, мм**	**Средние температуры, t^{o}**	**Средний уровень вод, см**
Дефолиация ели	**-0.41**	-0.14	0.08
Депигментация ели	-0.33	-0.10	0.00
Дефолиация сосны	-0.11 (частный)	0.03	0.20 (частный)
Депигментация сосны	**-0.40** (частный)	0.03	**0.40** (частный)

[2)] Частные коэффициенты корреляции характеризуют тесноту связи между результирующей переменной и рассматриваемым фактором при устранении влияния других факторов, что позволяет оценить самостоятельный вклад соответствующей переменной. В работе для выявления связи дефолиации и депигментации с суммами осадков исключалось влияние уровня вод болота, а для выявления связи с уровнем вод болота исключалось влияние сумм осадков.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции (*r*), характеризующие связи средних по пробным площадям значений дефолиации и депигментации древостоев, а также климатических факторов и уровня вод предыдущего вегетационного сезона (выделены близкие к значимым на уровне 10% коэффициенты)

Table 2. Correlation coefficients (*r*) characterizing the relationships between the average values of stands defoliation and depigmentation, as well as climatic factors and water level of the previous growing season (close to significant at 10% coefficients are highlighted)

Параметр состояния кроны	Суммы осадков, мм	Средние температуры, t^o	Средний уровень вод, см
Дефолиация ели	-0.05	0.00	**0.46**
Депигментация ели	-0.19	-0.27	0.32
Дефолиация сосны	**-0.39** (частный)	0.13	-0.06 (частный)
Депигментация сосны	-0.18 (частный)	0.38	-0.13 (частный)

На основании полученных результатов можно предположить наличие связи степени дефолиации ели и сумм осадков текущего вегетационного сезона (r = -0.41). Заметим, что, хотя эта корреляция и незначима формально, но знак и величина корреляции с другим показателем – депигментацией – имеет тот же знак и значительную величину, что подтверждает наличие связи между биологическими показателями и климатическим фактором; то же можно заметить и в других аналогичных случаях: уровень вод – состояние ели; осадки – состояние сосны. Важно отметить, что, помимо этого, дополнительно для ели обнаружена отрицательная связь сумм осадков текущего периода с *максимальными* годовыми показателями депигментации и дефолиации (r = -0.48 – статистически значим, r = -0.44 – близок к статистически значимому, не представлены в табл. 1). На рис. 5а, б представлены графики синхронности динамики указанных параметров. Как для показателя дефолиации, так и для показателя депигментации выделяются периоды асинхронности: на рис 5а асинхронность[3)] составляет 75%, на рис. 5б – 58%. В ряде ранее проведенных исследований показано, что лимитирующим фактором для бореальных сосняков является не температура воздуха (теплом они в достаточной степени обеспечены), а количество осадков (Максимова, Кухта, 2022; Кухта, 2009; Кухта, Попова, 2020; Кузнецова, Чернокульский, Кухта, 2020; Chernogaeva, Kuznetsova, Kukhta, 2020). Во влажных биотопах таёжных экосистем недостаток воды объясняется явлением физиологической сухости, связанной с низкой температурой почвы, низким значение pH среды корнеобитаемого слоя, недостатком в ней кислорода. Таким образом, повышение температуры вызывает дополнительную сухость верхнего слоя почвы в сфагновых сосняках и усиливает дефицит влаги для деревьев (Кухта, 2009; Кухта, Попова, 2020;

[3)] Асинхронность рассчитывалась как процент несовпадающих направлений от года к году по отношению ко всем направлениям.

Chernogaeva, Kuhta, 2018). Индикатором этого процесса является усиление дефолиации крон. Обнаруженная закономерность визуализирована на рис. 5б.

Рисунок 5а. Максимальные значения депигментации (max DP) ели и сумма осадков текущего вегетационного сезона

Figure 5a. Max pine depigmentation (max DP) and the precipitation amount of the current growing season

Рисунок 5б. Дефолиация (DF) ели и суммы осадков текущего вегетационного сезона

Figure 5b. Pine defoliation (DF) and the precipitation amount of the current growing season

Возможная связь степени дефолиация ели и уровня вод р. Межа предыдущего вегетационного сезона характеризуется положительными значениями коэффициента корреляции. Это означает, что при повышении уровня воды в реке (и, следовательно, почвенно-грунтовых вод) состояние древостоя на пробной площади 1 улучшается, о чём свидетельствует снижение степени депигментации крон. Ель в условиях ЦЛГЗ произрастает в условиях лучшей дренированности, чем сосна, и, будучи влаголюбивой породой, может испытывать недостаток влаги. Таким образом, в экотопе на пробной площади 1 поступление в корнеобитаемый слой воды улучшает состояние древостоя, сигналом чего является снижение степени депигментации. Ука-

занная закономерность представлена на рис. 5в и обнаруживает синхронность[4)] динамики 60 %.

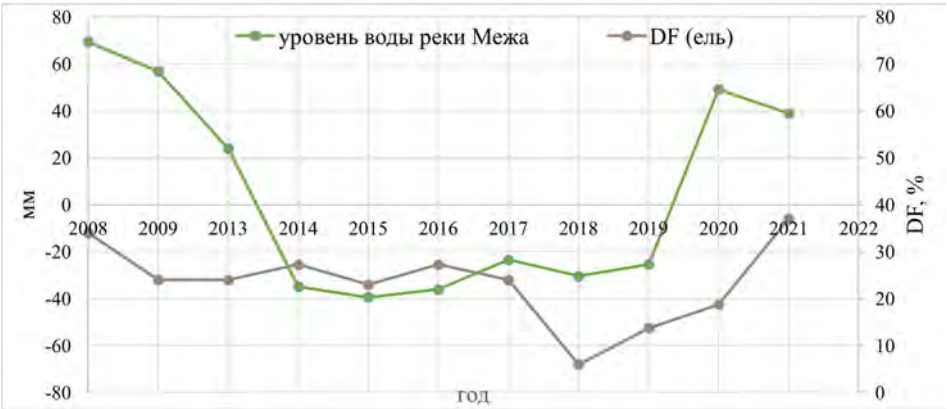

Рисунок 5в. Дефолиация (DF) ели и средний уровень вод р. Межа в предыдущем вегетационном сезоне

Figure 5в. Pine defoliation (DF) and the average water level of the Mezha river in the previous growing season

Для проверки гипотезы значимости выпадений атмосферных осадков предыдущего вегетационного сезона для уровня вод гидрографической сети ЦЛГЗ (и, в частности, болота Старосельский мох) и, следовательно, для параметров состояния крон сосняков и ельников был проведён корреляционный анализ рядов средних уровней вод р. Межа и болота Старосельский мох, а также сумм осадков как текущего, так и предшествующего вегетационных сезонов. Для сосны графики синхронности изменений дефолиации и депигментации с выявленными значимыми параметрами представлены на рис. 6 а, б и отчетливо не обнаруживают периодов сходной или, наоборот, противоположной, динамики. Отрицательные значения коэффициентов корреляции, близкие к значимым, обнаруживаются с суммами осадков текущего и предшествующего вегетационного периода (табл. 1, 2). Однако, помимо этого, дополнительно для сосны обнаружена отрицательная связь сумм осадков текущего и предшествующего периодов с *максимальными* годовыми показателями дефолиации с помощью расчета частных коэффициентов корреляции: для текущего периода r = -0.50 – статистически значим, для предшествующего периода r = -0.48 – близок к статистически значимому (не представлены в табл. 1, 2). Представленный на рис. 6в график динамики максимальных показателей дефолиации сосны с суммами осадков обнаруживает асинхронность в 61%.

[4)] Синхронность рассчитывалась как процент совпадающих направлений от года к году по отношению ко всем направлениям.

Рисунок 6а. Депигментация (DP) сосны и сумма осадков в текущем вегетационном сезоне

Picture 6a. Pine depigmentation (DP) and the precipitation amount in the current growing season

Рисунок 6б. Дефолиация сосны (DF) и средний уровень вод болота Старосельский мох в текущем вегетационном сезоне

Figure 6b. Pine defoliation (DF) and the average water level of the Staroselsky moss swamp in the current growing season

Рисунок 6в. Связь максимальной дефолиации сосны (DF) и сумм осадков в текущем вегетационном сезоне

Figure 6v. The connection of max pine defoliation (DF) and the precipitation amount in the current growing season

Водный режим верхового болота во многом определяется аккумуляцией атмосферной влаги в течение предыдущих лет. В данном случае поступление атмосферной влаги увеличивает температуру и pH, насыщает кислородом почвенно-грунтовый раствор олиготрофного местообитания, что повышает качество почек возобновления и, следовательно, ассимиляционного аппарата в следующем году. В ранее опубликованных исследованиях подчеркивается определяющая роль доступности ресурсов предыдущего вегетационного сезона для успешного развития фотосинтезирующей части деревьев в текущем году (Максимова, Кухта, 2022; Кузнецова, Чернокульский, Кухта, 2020; Jansons et al, 2013). Биоиндикатором данного процесса является регистрируемое снижение депигментации крон сосны.

Интересно отметить, что дополнительно выявлена статистически значимая положительная связь между дефолиацией и депигментаций для ели (r = 0.65), и для сосны (r = 0.52). Это дает основание полагать, что дефицит определенного ресурса дает кумулятивный отклик на состояние крон древостоя. Полученные результаты оценки связей показателей состояния крон деревьев и метеорологических параметров и уровней вод позволяют предположить наличие значимых зависимостей и согласуются с опубликованными ранее итогами исследований, выполненными для иных параметров состояния хвойных пород. Так, проведённый ранее анализ древостоев ели европейской выявил прямые связи возрастной структуры и динамики её популяций от доступности ресурса влаги в местообитаниях (Дыренков, 1984; Коротков, 2023; Стороженко и др., 2018; Стороженко, 2022). Вместе с тем, отмечается бóльшая, чем у сосны, чувствительность *P. abies* к водному стрессу, т.е. большая стенобионтность вида (Вомперский и др., 1975). Отмеченные в настоящей работе вероятные связи состояния крон *P. abies* и сумм осадков и средних значений уровней вод объясняется тем, что ель в условиях ЦЛГЗ произрас-

тает в свежих биотопах, в условиях, близких к экологическому оптимуму вида, в том числе и по признаку обводненности среды.

Также ряд научных работ посвящен определению откликов хода роста сосны на воздействие абиотических факторов. В них отмечены положительные корреляции приростов междоузлий сосны влажных биотопов и количеством осадков как предыдущего, так и текущего вегетационных сезонов (при отсутствии значимых корреляций с температурами) (Максимова, Кухта, 2022; Кухта, Попова, 2020; Кузнецова, Чернокульский, Кухта, 2020). Как и в рассматриваемом случае, объясняется это явлением физиологической сухости в сфагновых сосняках и на верховых болотах. В таких условиях атмосферные осадки повышают температуру субстрата и значение pH почвенного раствора, привносят в среду обитания кислород, снижая, тем самым, дефицит ресурсов, требуемых для роста дерева в высоту (Максимова, Кухта, 2022; Кухта, Попова, 2020).

Для верификации предполагаемых связей уровней вод и сумм осадков с показателями состояния крон сосны и ели требуется более длительный период наблюдений. В дальнейшем, в связи с тем, что оценка состояния крон хвойных пород проводится экспертным методом, наиболее репрезентативными характеристиками для анализа взаимосвязей с метеопараметрами вероятнее всего являются максимальные значения дефолиации и депигментации. Кроме того, предполагается осуществить более точные оценки корреляций рядов измерений на более длительном периоде наблюдений.

Заключение

В рамках выполнения Международной совместной программы комплексного мониторинга (МСП КМ) в Центрально-Лесном государственном природном биосферном заповеднике не обнаружено значимых корреляций состояния крон древостоев сосны обыкновенной и ели европейской со средними температурами. Полученный результат подтверждает, что древостои хвойных пород центральной части ЕТР не испытывают недостатки тепла в течение периода вегетации.

Выявлены отрицательные корреляции показателей состояния крон сосны обыкновенной и количества осадков текущего и предыдущего вегетационных сезонов, свидетельствующие о снижении дефолиации и депигментации с повышением уровня вод болота Старосельский мох. Указанное явление объясняется тем, что сосна обыкновенная на территории ЦЛГЗ произрастает на краю своей экологической ниши, и количество осадков являются лимитирующим фактором для данной породы в сфагновых биотопах.

Для ели европейской статистически значимые отрицательные связи и высокую асинхронность с суммарными осадками текущего года обнаружены с *максимальными* показателями депигментации и дефолиации. Тем не менее, данные результаты позволяют сделать заключение, что качество фотосинтезирующей части деревьев ели находится во взаимосвязи с количеством осадков и уровнем вод р. Межа предшествующего вегетационного сезона.

Таким образом, для корректной оценки состояния лесных экосистем необходимо учитывать параметры исследуемых местообитаний, а также выявлять лимитирующие развитие деревьев факторы. Полученные закономерности позволят оптимизировать комплекс методов биоиндикации, применяемых при оценке воздействия антропогенного загрязнения на природные экосистемы. Кроме того, понимание связей состояния лесных биоценозов и климатических, а также гидрологических, факторов даст возможность предсказывать вероятный отклик состояний биогеоценозов региона в соответствии с вероятными сценариями изменения климата, разработанными специалистами Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК).

Список литературы

Алисов, Б.П. (1956) *Климат СССР*, М., Изд-во Моск. ун-та. 128 с.

База данных «Ценофонд Европейской России». URL: http://cepl.rssi.ru/bio/flora/ princip.htm (дата обращения 02.10.2023).

Большев, Л.Н., Смирнов Н.В. (1983) *Таблицы математической статистики*. Издание третье, М., Наука, Главная редакция физико-математической литературы. 416 с.

Булыгина, О.Н., Разуваев, В.Н., Александрова, Т.М. (2014) Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (TTTR), *Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942*.

Вомперский, С.Э., Сабо Е.Д., Фомина, А.С. (1975) *Лесоосушительная мелиорация*, М., Наука, 295 с.

Дыренков, С.А. (1984) *Структура и динамика таежных ельников*, Наука, Ленинградское отделение, 176 с.,

Коротков, С.А. (2023) *Смена состава древостоев и устойчивость защитных лесов центральной части Русской равнины*, М., АНО «ДОБЛЕСТЬ ЭПОХ», 168 с.

Кузнецова, В.В., Чернокульский, А.В., Козлов, Ф.А., Кухта, А.Е. (2020) Связь линейного и радиального прироста сосны обыкновенной с осадками разного генезиса в лесах Керженского заповедника, *Известия РАН. Серия географ.*, № 1, с. 93-102, doi: 10.31857/S2587556620010124.

Кухта, А.Е. (2009) Влияние температуры и осадков на годичный линейный прирост сосны обыкновенной на берегах Кандалакшского залива, *Лесной вестник, МГУЛ*, № 1 (64), с. 61-67.

Кухта, А.Е., Попова, Е.Н. (2020) Климатический сигнал в линейном приросте сосны обыкновенной бореальных фитоценозов побережья Белого моря, *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. 31, № 3-4, с. 33-45, doi: 10.21513/0207-2564-2020-3-33-45.

Кухта, А.Е., Пчелкин, А.В., Полещук, А.М. (2018) Оценка отклика древостоев сосны и ели Центрально-Лесного государственного природного заповедника на трансграничное загрязнение воздуха методами Международной

совместной программы комплексного мониторинга, *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. 29, № 4, с. 29-37, doi: 10.21513/0207-2564-2018-4-29-43.

Летопись природы Центрально-Лесного заповедника. URL: http:// https:/ /clgz.ru/node/19216 (дата обращения 11.12.2023).

Максимова, О.В., Кухта, А.Е. (2022) Вариабельность линейных и радиальных приростов сосны обыкновенной побережья Белого моря в зависимости от условий произрастания, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXIII, № 3-4, с. 20-36, doi: 10.21513/0207-2564-2022-3-4-20- 36.

Руководство по комплексному мониторингу (2013) Перевод с английского, М., ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН».

Стороженко, В.Г., Быков, А.В., Петров, А.В., Бухарева, О.А. (2018) *Устойчивость лесов. Теория и практика биогеоценотических исследований*, М., Товарищество научных изданий КМК, 173 с.

Стороженко, В.Г. (2022) Сравнительная оценка сукцессионной динамики древесных фракций ельников южной тайги, *Вопросы лесной науки*, № 3. URL: http:// https://jfsi.ru/3-2022/. (дата обращения 11.12.2023).

Сукачёв, В.Н. (1972) *Избранные труды в трех томах: Основы лесной типологии и биогеоценологии*, под ред. Е. М. Лавренко, Л., Наука, т. 1, 419 с.

Chernogaeva, G.M., Kuhta, A.E. (2018) The Response of Boreal Forest Stands to Recent Climate Change in the North of the European Part of Russia, *Russian Meteorology and Hydrology*, vol. 43, no. 6, pp. 418-424, doi:10.3103/ S1068373918060109.

Chernogaeva, G.M., Kuznetsova, V.V., Kukhta, A.E. (2020) Precipitation Effects on the Growth of Boreal Forest Stands in the Volga Region, *Russian Meteorology and Hydrology*, vol. 45, no. 12, pp. 851-857. doi: 10.3103/ S1068373920120055.

Gavrikov, V.L., Karlin, I.V. (1993) A dynamic model of tree terminal growth, *Can. J. For. res*., vol. 23, pp. 326-329.

Jansons, A., Matisons, R., Baumanis, I., Puriņa, L. (2013) Effect of climatic factors on height increment of Scots pine in experimental plantation in Kalsnava, Latvia, *Forest Ecology and Management*, 306, pp. 185-191, doi: 10.1016/ j.foreco.2013.06.039.

References

Alisov, B.P. (1956) *Klimat SSSR* [Climate of the USSR], Moscow, Russia, 128 p.

Baza dannyh «Cenofond Evropejskoj Rossii» [The database "Cenofond of European Russia"] URL: http://cepl.rssi.ru/bio/flora / princip.htm (accessed 02.10.2023).

Bulygina, O.N., Razuvaev, V.N., Alexandrova, T.M. Opisaniye massiva dannykh sutochnoy temperatury vozdukha i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii i byvshego SSSR (TTTR) [Description of the data array of daily air temperature and precipitation at meteorological stations

in Russia and the former USSR (TTTR)], *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh № 2014620942*.

Vompersky, S.E., Sabo, E.D., Fomina, A.S. (1975) *Lesoosushitel'naya melioratsiya* [Forest drainage reclamation], Nauka, Moscow, Russia, 295 p.

Dyrenkov, S.A. (1984) *Struktura i dinamika tayezhnykh yel'nikov* [Structure and dynamics of taiga spruce forests], Nauka, Leningradskoye otdeleniye, Moscow, Russia, 176 p.

Korotkov, S.A. (2023) *Smena sostava drevostoyev i ustoychivost' zashchitnykh lesov tsentral'noy chasti Russkoy ravniny* [Changes in the composition of forest stands and the stability of protective forests in the central part of the Russian Plain], ANO "DOBLEST' EPOKH", Moscow, Russia, 168 p.

Kuznecova, V.V., Chernokul'skij, A.V., Kozlov, F.A., Kuhta, A.E. (2020) The relationship of linear and radial growth of scots pine with precipitation of different genesis in the forests of the Kerzhensky Reserve, *Izvestiya RAN, Seriya geograficheskaya*, no. 1, pp. 93-102.

Kuhta, A.E. (2009) The influence of temperature and precipitation on the annual linear growth of scots pine on the shores of the Kandalaksha Bay, *Lesnoj vestnik, MGUL,* no. 1 (64), pp. 61-67.

Kuhta, A.E., Popova, E.N. (2020) Climate signal in linear growth of scots pine of boreal phytocenoses of the White Sea coast, *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* , vol. 31, no. 3-4, pp. 33-45, doi:10.21513/ 0207-2564-2020-3-33-45.

Kukhta, A.E., Pchelkin, A.V., Poleshchuk, A.M. (2018) Assessment of the response of pine and spruce stands of the Central Forest State Nature Reserve to transboundary air pollution using the methods of the International Cooperative Program for Integrated Monitoring, *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem,* vol. 29, no. 4, pp. 29-37. doi: 10.21513/0207-2564-2018-4-29-43.

Letopis' prirody Tsentral'no-Lesnogo zapovednika. [Chronicle of the nature of the Central Forest Reserve]. URL: https://clgz.ru/node/19216 (accessed 11.08.2023).

Maksimova, O.V., Kuhta, A.E. (2022) Variability of linear and radial increments of Scots pine of the White Sea coast depending on growing conditions, *Ekologicheskiy monitoring i modelirovaniye ekosistem* , vol. XXXIII, no. 3-4, pp. 20-36, doi: 10.21513/0207-2564-2022-3-4-20- 36.

Rukovodstvo po kompleksnomu monitoring (2013). Perevod s angliyskogo, Federal State Budgetary Institution “IGKE Roshydromet and RAS”, Moscow, Russia,

Storozhenko, V.G., Bykov, A.V., Petrov, A.V., Bukhareva, O.A. (2018) *Ustoychivost' lesov. Teoriya i praktika biogeotsenoticheskikh issledovaniy* [Forest sustainability. Theory and practice of biogeocenotic research], Partnership of scientific publications KMK, Moscow, Russia, 173 p.

Storozhenko, V.G. (2022) Comparative assessment of the successional dynamics of tree fractions of spruce forests of the southern taiga, *Voprosy lesnoj nauki* no. 3. URL: http:// https://jfsi.ru/3-2022 (accessed 11.12.2023).

Sukachyov, V.N. (1972) *Izbrannye trudy v trekh tomah. Osnovy lesnoj tipologii i biogeocenologii, pod red. E. M. Lavrenko* [Selected works in three volumes: Fundamentals of Forest Typology and Biogeocenology, ed. E. M. Lavrenko], Leningrad, Russia, vol. 1, 419 p.

Chernogaeva, G.M., Kuhta, A.E. (2018) The Response of Boreal Forest Stands to Recent Climate Change in the North of the European Part of Russia, *Russian Meteorology and Hydrology*, Allerton Press Inc. (United States), vol. 43, no. 6, pp. 418-424, doi:10.3103/S1068373918060109.

Chernogaeva, G.M., Kuznetsova, V.V., Kukhta, A.E. (2020) Precipitation Effects on the Growth of Boreal Forest Stands in the Volga Region, *Russian Meteorology and Hydrology*, Allerton Press Inc. (United States), vol. 45, no. 12, pp. 851-857. doi: 10.3103/S1068373920120055.

Gavrikov, V.L., Karlin, I.V. (1993) A dynamic model of tree terminal growth, *Can. J. For. Res*., vol. 23, pp. 326-329.

Jansons, A., Matisons, R., Baumanis, I., Puriņa, L. (2013). Effect of climatic factors on height increment of Scots pine in experimental plantation in Kalsnava, Latvia, *Forest Ecology and Management*, 306, 185-191. doi: 10.1016/ j.foreco.2013.06.039.

Статья поступила в редакцию (Received):
Статья доработана после рецензирования (Revised):

Для цитирования / For citation

Шерстнева Е.А., Максимова О.В., Кухта А.Е., Тихонова И.О. (2024) Воздействие климатических факторов на состояние модельных древостоев Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXV, № 3-4, с. 38-55, doi: 10.24412/2782-3237-2024-3-4-38-55.

Sherstneva E.A., Maksimova O.V., Koukhta A.E., Tikhonova I.O. (2024) *T*he impact of climatic factors on the state of model stands of the Central Forest state nftural biosphere resrve, *Ecological monitoring and ecosystem modelling*, vol. XXXV, № 3-4, pp. 38-55, doi: 10.24412/2782-3237-2024-3-4-38-55.