

УДК 630*181

Е. В. Дегтярева, А. А. Болботунов
Полоцкий государственный университет

**ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ХВОЙНЫХ ПОРОД
НА ТЕРРИТОРИИ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ
ГОРОДА НОВОПОЛОЦКА**

Леса санитарно-защитных зон являются естественным барьером между жилой частью города и промышленной зоной. Они, находясь под постоянным техногенным воздействием, служат своеобразными индикаторами состояния окружающей среды. Количественным показателем оценки состояния древостоя может выступать динамика радиального прироста. В ходе длительного дендрохронологического мониторинга на постоянных пробных площадях в санитарной защитной зоне г. Новополоцка выявляются реакции ширины годичного кольца деревьев хвойных пород на аэротехногенное загрязнение, гидромелиорацию, внесение удобрений. Сравнение ведется с естественно развивающимися аналоговыми пробными площадями, находящимися вне зоны техногенного воздействия.

Показаны возможности математического моделирования динамики радиального прироста хвойных пород деревьев на урбанизированных территориях. Выполнен прогноз динамики ширины годичного кольца до 2030 г. для хвойных насаждений на фоне проектирования установки по сжиганию нефтяного кокса.

Ключевые слова: аэротехногенное загрязнение, дендрохронология, радиальный прирост, хвойные породы деревьев, дендрошкалы, моделирование.

E. V. Degtyareva, A. A. Bolbotunov
Polotsk State University

**DENDROCHRONOLOGICAL MONITORING OF CONIFEROUS
IN THE TERRITORY OF THE SANITARY PROTECTION ZONE
OF THE NOVOPOLOTSK CITY**

The forests of health protection zones are a natural buffer between the residential part of the city and the industrial zone. These forest stands, being under constant technogenic influence, are peculiar indicators of the state of the environment. A quantitative indicator of the assessment of the state of the forest stand can be the dynamics of the radial growth. During the long dendrochronological monitoring on permanent test plots in the buffer health sanitary protection zone of Novopolotsk, the response of the annual ring width of coniferous to aero-technogenic pollution, hydro-reclamation, and fertilization are identified. The comparison is carried out with naturally developing analog sample plots located outside the zone of anthropogenic impact.

The article shows the possibilities of mathematical modeling of the dynamics of the radial nature of coniferous trees in urbanized areas. The forecast of the dynamics of the annual ring width up to 2030 for pine stands against the background of the design of an oil coke burning plant was made.

Key words: technogenic air pollution, dendrochronology, annual tree ring width, coniferous trees, radial growth scales, modeling.

Введение. Лесные экосистемы Беларуси, являясь восполнимым ресурсом, имеют важное экономическое и огромное экологическое значение, которое распространяется и за пределы республики. Леса Беларуси обеспечивают регулирование водного режима трансграничных рек, депонируют углерод в объемах, превышающих эмиссии CO₂ в республике, поставляя кислород и для сопредельных территорий. Вопросы, связанные с разработкой лесохозяйственных мероприятий для увеличения депонирующей функции лесов и созданием методик оценки адсорбции углерода, в настоящее время очень актуальны и широко рассматриваются в литературе [1, 2, 3].

Особую роль в экологическом плане играют леса санитарных защитных зон предприятий, являясь локальным барьером между источником эмиссий и населенным пунктом. Находясь под сильным антропогенным воздействием (аэротехногенное воздействие стационарных источников, интенсивная рекреация, воздействие мобильных источников загрязнения, гидромелиорация и т. д.), эти насаждения нуждаются в постоянном мониторинге и особых хозяйственных мероприятиях, которые будут учитывать возраст экологической спелости, технологии рубок, оптимальный подбор породных составов, использование минеральных удобрений и т. д. [1, 2, 4].

Санитарно-защитная зона г. Новополоцка (далее СЗЗ) представляет собой лесную полосу шириной 4,5 км между городом и промышленной зоной. В типологическом отношении леса здесь отличаются разнообразием и представлены всеми основными типами, характерными для бореальных лесов. Работы по мониторингу лесов на территории СЗЗ г. Новополоцка начаты в Полоцком государственном университете на кафедре геодезии и кадастров в 1988 г. Объекты исследований расположены в сосновых и еловых фитоценозах III–VI классов возраста. Для контроля использованы аналоговые пробные площади на расстоянии 10, 25, 65–120 км в различных лесничествах Полоцкого лесхоза, Двинской экспериментальной лесной базы Института леса НАН Республики Беларусь, на особо охраняемых природных территориях Белорусского Поозерья.

За период исследований устанавливалось состояние фитоценозов, выполнялись наблюдения за уровнем грунтовых вод, мониторинг изменения агрохимических свойств почв на ряде проб [5]. Постоянные пробные площади, заложенные в хвойных древостоях в разных условиях местопроизрастания, позволяют оценить влияние техногенных, климатических и мелиоративных факторов на типологической основе. Ширина годовичного кольца является замечательным индикатором антропогенных и климатических воздействий: как негативных, так и положительных. Дендрохронологические исследования позволяют количественно оценить воздействие тех или иных факторов (выбросы, пожары, удобрения, рубки ухода, засуха, подтопление и т. д.) на состояние древостоев, а также выполнить прогноз динамики развития. Регулярно актуализирующиеся дендрохронологические шкалы дают возможность оперативно оценить степень антропогенного воздействия в санитарно-защитной зоне г. Новополоцка.

Новополоцк, к сожалению, уже традиционно относится к числу городов с наиболее высокой плотностью эмиссии вредных веществ (рис. 1). Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются предприятия нефтеперерабатывающей, химической промышленности, теплоэнергетики и автотранспорт.

В структуре выбросов преобладает диоксид серы (35%). В отличие от других городов республики, на долю автотранспорта в Новополоцке приходится всего около 5% [6].

По данным на начало 2018 г., на контрольных пунктах, расположенных в черте города, отмечается снижение содержания в воздухе диоксида азота и сероводорода по сравнению с 2013 г. Однако наметилась устойчивая тенденция увеличения среднегодовых концентраций фенола и свинца.

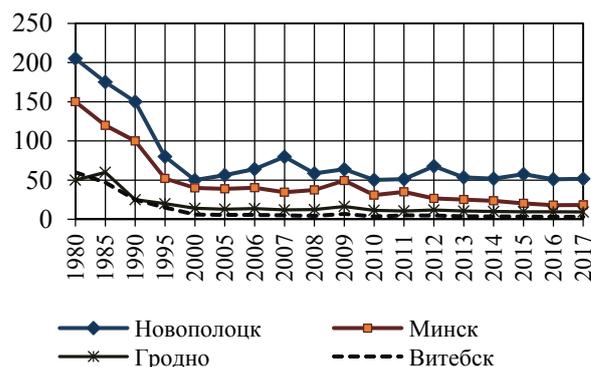


Рис. 1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников по отдельным городам (тыс. т) [6]

Основная часть. В целом состояние лесных насаждений в зоне воздействия Новополоцкого нефтеперерабатывающего комплекса оценивается как удовлетворительное. В настоящее время на фоне устойчивого объема атмосферных выбросов доля здоровых деревьев составила в среднем порядка 46% (рис. 2). Схожие данные получили в ходе исследований и коллеги из Института экспериментальной ботаники [7].



Рис. 2. Распределение деревьев по категориям состояния на исследованных пробных площадях, в процентах, согласно переписям 2015–2018 гг.

На основании лесоустроительного проекта и по согласованию с работниками Фариновского лесничества Полоцкого лесхоза, на землях которого расположена СЗЗ, лесохозяйственные работы на постоянных пробных площадях максимально ограничены. Этим объясняется значительное количество сухостоя. Сухостой при отсутствии мероприятий по уборке захламленности стоит на корню, как правило, 5–10 лет (76% всего сухостоя). В гидроморфных условиях сухостой способен оставаться в вертикальном положении более 20 лет (по данным последних переписей, это 10% от всего сухостоя).

Наибольшие объемы выбросов пришлось на 1980-е гг., что отразилось на радиальном приросте хвойных пород в СЗЗ. На рис. 3 показаны фрагменты дендрохронологических шкал ели, таксационные характеристики приведенных в статье постоянных пробных площадей (далее ППП) даны в таблице.



Рис. 3. Техногенное воздействие 1980–1995 гг. на ельнички черничные в разной удаленности от источника азротехногенного загрязнения

Характеристики постоянных пробных площадей

Название и расположение ППП	Порода, возраст, количество деревьев	Состав, ТУМ, тип леса	Удаленность от завода, кернов в шкале
ППП 16 Фариновское лес-во, кв. 68	Ель 150 лет 198	10Е С ₂ Е. кис.	200 м 26
ППП 24 Фариновское лес-во, кв. 12	Ель 110 лет 162	10Е С ₂ Е. кис.	2 км 25
ППП 47 Борковичское лес-во, кв. 87	Ель 130 лет 200	6С4Е В ₂ С. кис.	25 км 21
Новополоцк Объект озеленения	Сосна 135 лет 36	10С А ₃ газон*	5 км 28
ППП 23 Фариновское лес-во, кв. 41	Сосна 120 лет 126	10С А ₄ С. сф.	0,5 км 27

* Трансформация из ГЛФ, ранее С. чер.

** Мелиоративное воздействие, ранее А₅.

Представленные на графике насаждения расположены на разном удалении от источника эмиссии. Как видно на рис. 3, радиальный прирост древостоя на ППП 16 понизился почти наполовину по сравнению с аналоговым насаждением ППП 47. Даже насаждение, находящееся на территории СЗЗ, но на 2 км дальше, не столь остро реагировало на ухудшение экологической ситуации.

В данный период на дендрохронологических шкалах, разработанных для насаждений СЗЗ г. Новополоцка, отмечается удовлетворительное состояние. Даже те пробные площади, которые находятся непосредственно близко к источнику загрязнения, после 1995 г. стабилизировали динамику радиального прироста.

Пример положительного антропогенного воздействия показан на рис. 4. Этот 130-летний сосновый древостой включен в городское озеленение из гослесфонда в 1985 г. После строительства Дворца Бракосочетаний и реконструкции территории в 2007 г. было решено поддержать состояние части деревьев (секция 1) внесением минеральных удобрений в дозах Р₆₀Н₆₀К₆₀. Эффект от внесения удобрений сохраняется уже 11 лет.



Рис. 4. Эффективность внесения удобрений в реконструированном парковом насаждении сосны возле Дворца бракосочетаний г. Новополоцка

Известно, что лес является открытой, динамической, саморегулирующейся, мультистабильной и очень сложной системой, однако присутствующие закономерности дают возможность описать дендрохронологическую шкалу в виде математической функции и выполнить прогноз на ближайшие годы [8]. Наилучшим образом моделируются естественные процессы без антропогенного воздействия, подверженные влиянию только климатических условий, которые, как считают многие исследователи, под действием астрономических факторов имеют хоть и сложную, но периодическую закономерность. Насаждения урбанизированных территорий несут в себе отражение хозяйственной деятельности, которые часто скрадывают природные циклы, что затрудняет моделирование и прогнозирование таких шкал.

На рис. 5 приведена дендрохронологическая шкала сосны. После проведения гидромелиорации в 1970 г., периодичность шкалы проявляется уже не столь ярко, а также уменьшилась амплитуда колебаний в динамике ширины годовичного кольца. Тем не менее модель имеет высокий коэффициент корреляции с реальными данными ($r = 0,82$). В модель вошли 8 гармоник с периодами 19, 32, 31, 19, 16, 9, 13, 4, 46, 6 лет. Данные для удобства моделирования (рис. 5) выполнены в относительных единицах — индексах (процентах к скользящему среднему с окном 21 год).



Рис. 5. Динамика радиального прироста сосны в сосняке сфагновом (А₅) под воздействием гидромелиорации с 1970 г. Моделирование выполнено гармоническим анализом, корреляция с моделью 0,82; прогноз 2019–2030 гг.

В 2019 г. общественность в г. Новополоцке обсуждала вопрос о воздействии на окружающую среду проектирующейся установки по сжиганию нефтяного кокса на Новополоцкой ТЭЦ. Однако и без того непростая экологическая обстановка вблизи промышленного узла в результате реализации проекта усугубится появлением в выбросах твердых частиц, увеличением объема выбросов оксида углерода и тяжелых металлов (особенно ванадия и никеля) [9].

Планирующиеся в 15 км к западу от города золоотвалы – земельные участки площадью порядка 50 га – должны были передаваться из земель лесного фонда. Учитывая существующую розу ветров и расположение населенных пунктов, золоотвалы являются серьезными источниками загрязнения, в первую очередь атмосферного воздуха пылевыми частицами.

Возможно также загрязнение почв тяжелыми металлами, изменение их структуры и кислотности, так как в отличие от древесной золы, зола нефтекокса не является удобрением и раскислителем. Степень изменения кислотности будет зависеть от буферности почв, во многом определяемой гранулометрическим составом (наличием коллоидных частиц). Так, глинистые и суглинистые почвы претерпят меньшие изменения, нежели песчаные. В сложившихся условиях такая характерная особенность Полоцкого района, как мелкоконтурность, повышает экологическую устойчивость окружающей среды, хотя для сельского хозяйства рассматривается скорее как недостаток. Для оценки изменений

требуется актуализация почвенной карты, в особенности карты кислотности. Существующий картографический материал с эдафическими характеристиками был выполнен в ходе лесоустройства в 1983 г., и сейчас назрела обстановка и необходимость более глубоких исследований почвенного покрова, что подтверждается исследованиями других авторов [10], а также совершенствование системы лесоустроительного проектирования на основе системы лесного кадастра, разработки автоматизированных модулей кадастровой оценки лесов на основе ГИС-технологий [11].

Заключение. Дендрохронологический мониторинг может служить реальным обоснованием для текущего и среднесрочного планирования лесохозяйственных мероприятий при инвентаризации лесного фонда. Согласно выполненным исследованиям и сделанным прогнозам динамики радиального прироста, в 20-е гг. текущего столетия ожидается спад прироста у сосны, особенно на верхних элементах рельефа [8], что, очевидно, будет связано с неблагоприятными климатическими условиями. Усугубить ситуацию могут повышение объемов эмиссий в регионе и проблемные ситуации с золоотвалами.

Дендрохронологический мониторинг отмечает спад радиального ежегодного прироста у деревьев хвойных пород в период наибольших выбросов. Это особенно заметно в сравнении с аналоговыми насаждениями, расположенными за пределами влияния нефтепромышленного комплекса.

Литература

1. Рожков Л. Н. Методологические подходы к оценке содержания углерода (абсорбция / эмиссия) при различных способах рубки и возобновления леса, удаления / неудаления порубочных остатков // Труды БГТУ. 2019. Сер. 1. № 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. С. 17–23.

2. Шиман Д. В., Юшкевич М. В., Клыш А. С. Пути увеличения адсорбции парниковых газов лесами Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1. С. 42–47.
3. Штукин С. С. О создании лесных углерододепонирующих плантаций // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1. С. 67–71.
4. Багинский В. Ф., Лапицкая О. В. Запас депонированного углерода как организационный элемент экологизированного лесопользования // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 2. С. 37–43.
5. Болботунов А. А. Полевые почвенные исследования; методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Землеустроительное проектирование», «Кадастры», «Почвоведение». Новополоцк: ПГУ, 2004. 60 с.
6. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь: статистический сб. [Электронный ресурс] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Режим доступа: http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayusc-haya-sreda/ofitsialnye-publikatsii_17/index_9418/ (дата обращения: 20.05.2019).
7. Судник А. В. Динамика состояния лесных древостоев в зоне воздействия новополоцкого НПК по данным локального мониторинга за 25-летний период // Маніторынг і ацэнка стану расліннага свету: матэрыялы V Міжнароднай навуковай канферэнцыі, Мінск, 8–12 кастр. 2018 г. Мінск: Колорград, 2018. С. 91–93.
8. Болботунов А. А., Дегтярева Е. В. Оценка развития сосновых насаждений дендроклиматическими методами // Маніторынг і ацэнка стану расліннага свету: матэрыялы V Міжнароднай навуковай канферэнцыі, Мінск, 8–12 кастр. 2018 г. Мінск: Колорград, 2018. С. 15–17.
9. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) по объекту «Строительство котлоагрегата паропроизводительностью 240 т/ч в филиале РУП «Витебскэнерго» Новополоцкая ТЭЦ» 259-ПЗ-ЭКО1. Резюме нетехнического характера ГПО «БЕЛЭНЕРГО [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.novopolotsk.by/content/view/8385/176/> (дата обращения: 31.05.2019).
10. Червань А. Н., Романова М. Л., Андреева В. Л., Ефимова И. А. Применение геосистемного подхода к анализу структуры почвенного покрова в отношении задач сельского и лесного хозяйства // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1. С. 5–9.
11. Толкач И. В. Основные направления развития системы лесоустройства и методов инвентаризации лесов Беларуси // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хозяйство. С. 50–53.

References

1. Rozhkov L. N. Methodological approaches to the evaluation of the content carbon (absorption / emission) using different ways of felling and forest renewal, removal / not removal of debris. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 1, pp. 17–23 (In Russian).
2. Shiman D. V., Yushkevich M. V., Klysh A. S. Activities to increase carbon sequestration in the forests of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 1, pp. 42–47 (In Russian).
3. Shtukin S. S. On the creation of forest carbon depositing plantations. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1: Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 1, pp. 67–71 (In Russian).
4. Baginskiy V. F., Lapitskaya O. V. Stock of deposited carbon as an organizational element environmental forest use. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2018, no. 2, pp. 37–43 (In Russian).
5. Bolbotunov A.A. *Polevyye pochvennyye issledovaniya* [Field soil studies]. Novopolotsk, PGU Publ., 2004. 60 p.
6. *Okhrana okruzhayushchey sredy v Respublike Belarus': statisticheskiy sb.* [Environmental Protection in the Republic of Belarus: Statistical Compendium. National Statistical Committee of the Republic of Belarus]. Available at: http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/ofitsialnye-publikatsii_17/index_9418/ (accessed 20.05.2019).
7. Sudnik A. V. Dynamics of the state of forest stands in the impact zone of Novopolotsk NPK according to local monitoring data for a 25-year period. *Materialy V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitel'nogo mira"* [Materials of the V International Scientific Conference "Monitoring and assessment of the state of the flora"]. Minsk, 2018, pp. 91–93 (In Russian).

8. Degtyareva E. V., Bolbotunov A. A. Evaluation of the development of pine plantations by dendro-climatic methods. *Materialy V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitel'nogo mira"* [Materials of the V International Scientific Conference "Monitoring and assessment of the state of the flora"]. Minsk, 2018, pp. 15–17 (In Russian).

9. *Otsenka vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu (OVOS) po ob'yektu "Stroitel'stvo kotloagregata paroproizvoditel'nost'yu 240 t/ch v filiale RUP "Vitebskenergo" Novopolotskaya TETS» 259-PZ-EKOI. Rezyume netekhnicheskogo kharaktera GPO "BELENERGO"*. Available at: <http://www.novopolotsk.by/content/view/8385/176/> (accessed 31.05.2019).

10. Chervan' A. N., Romanova E. L., Andreeva V. L., Efimova I. A. Geosystem approach using for analysis of the structure of the topsoil cover in agriculture and forestry. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 1, pp. 5–9 (In Russian).

11. Tolkach I. V. The main directions of development of forest management and methods of forest inventory of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 50–53 (In Russian).

Информация об авторах

Дегтярева Елена Владимировна – старший преподаватель кафедры геодезии и геоинформационных систем. Полоцкий государственный университет (220440, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29, Республика Беларусь). E-mail: e.degtjareva@psu.by

Болботунов Афанасий Астафьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры геодезии и геоинформационных систем. Полоцкий государственный университет (220440, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29, Республика Беларусь). E-mail: dendro.psu@gmail.com

Information about the authors

Degtyareva Elena Vladimirovna – Senior Lecturer, the Department of Geodesy and Geographic Information Systems. Polotsk State University (29, Blokhina str., 220440, Novopolotsk, Republic of Belarus). E-mail: e.degtjareva@psu.by

Bolbotunov Afanasiy Astaf'yevich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Geodesy and Geographic Information Systems. Polotsk State University (29, Blokhina str., 220440, Novopolotsk, Republic of Belarus). E-mail: dendro.psu@gmail.com

Поступила 04.06.2019