

МОНИТОРИНГ ВЛИЯНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИКАМБИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ТКАНЕЙ СТВОЛА БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*Betula pendula* Roth.) В УСЛОВИЯХ НЕФТЕШЛАМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

¹Курило Ю.А., ²Григорьев А.И.

¹ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет физической культуры», E-mail: curilo.yu@yandex.ru

²Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, E-mail aigrigoryew@mail.ru

Аннотация: Влияние гидротермического режима окружающей среды на состояние древесных растений и оценка их жизнедеятельности по данным электрического сопротивления имеют большой интерес в экологическом плане. В биомониторинговых исследованиях важным является вопрос возможности использования величины электрического сопротивления (ЭС) прикамбиального слоя тканей (ПКТ) деревьев березы повислой для выявления жизнеспособности и степени роста и развития деревьев в стрессовых условиях при нефтешламовом загрязнении и динамике гидротермического режима воздушной среды. *Цель исследования* – изучить влияния гидротермического режима воздушной среды в условиях нефтешламового загрязнения почвогрунта на величину электрического сопротивления прикамбиального комплекса тканей стволов березы повислой. Изучена зависимость электросопротивления прикамбиального комплекса тканей (ПКТ) ствола березы при различных режимах атмосферного увлажнения в условиях нефтешламового загрязнения почвогрунтов. Выявлена тесная зависимость между показателем электрического сопротивления прикамбиального комплекса тканей и гидротермическим режимом воздушной среды, в районе исследования, как в контроле, так и экспериментальной группе. Это говорит о том, что данный фактор является стрессором. И на основе полученных данных можно проводить скрининг лесных биогеоценозов.

Ключевые слова: береза повислая, прикамбиальный комплекс тканей, электрическое сопротивление, электрометрический метод, нефтешламовое загрязнение, гидротермический режим.

MONITORING OF THE INFLUENCE OF THE HYDROTHERMAL REGIME ON THE ELECTRICAL RESISTANCE PRECOMPILING COMPLEX TISSUES OF THE TRUNK OF A SILVER BIRCH (*Betula pendula* Roth.) IN THE CONDITIONS OF OIL SLUDGE POLLUTION

¹ Kurilo Yu. A., ² Grigoriev A. I.

¹ Siberian State University of Physical Culture, E-mail: curilo.yu@yandex.ru

² Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, E-mail aigrigoryew@mail.ru

Abstract: The influence of the hydrothermal regime of the environment on the state of woody plants and the assessment of their vital activity according to the data of electrical resistance are of great ecological interest. In biomonitoring studies, an important issue is the possibility of using the value of electrical resistance (ES) of the cambial tissue layer (PCT) of silver birch trees to identify the viability and degree of growth and development of trees under stress conditions with oil sludge pollution and the dynamics of the hydrothermal regime of the air environment. The aim of the study is to study the effect of the hydrothermal regime of the air under conditions of oil sludge contamination of the soil on the value of the electrical resistance of the near-cambial complex of tissues of silver birch trunks. The dependence of the electrical resistance of the cambial tissue complex (PCT) of a birch trunk under various modes of atmospheric humidification under conditions of oil sludge contamination of soils has been studied. A close relationship was revealed between the indicator of electrical resistance of the cambial complex of tissues and the hydrothermal regime of the air in the study area,

both in the control and in the experimental group. This suggests that this factor is a stressor. And on the basis of the data obtained, it is possible to screen forest biogeocenoses.

Key words: silver birch, primarily complex tissues, electrical resistance, electrometric method, oil sludge pollution, hydrothermal regime

Введение

Влияние гидротермического режима окружающей среды на состояние древесных растений и оценка их жизнедеятельности по данным электрического сопротивления имеют большой интерес в экологическом плане. В биомониторинговых исследованиях важным является вопрос возможности использования величины электрического сопротивления (ЭС) прикамбиального слоя тканей (ПКТ) деревьев березы повислой для выявления жизнеспособности и степени роста и развития деревьев в стрессовых условиях при нефтешламовом загрязнении и динамике гидротермического режима воздушной среды.

Как известно, температурный фактор влияет на скорость диффузии, на скорость химических реакций, и как следствие, увеличение проницаемости мембран. Большой вклад в изучение вопроса устойчивости растений к температурному фактору внесли исследования Э. Н. Адлера и К. С. Бокарева (1977). В работах П. Я. Голодриги с сотрудниками (1972) «установлена корреляция между комплексным сопротивлением тканей электротоку и морозостойкостью различных сортов винограда и показана возможность практического применения этого метода для диагностики устойчивости». А. П. Ивакиным (1976) в своих работах особое внимание уделил изучению жароустойчивости овощных культур по электрическому сопротивлению тканей. А. А. Маторкиным с соавторами (2007) предложен метод экспресс – оценки состояния деревьев по импедансу ПКТ и температуры стволов (2007). Позже В.Н. Карасев с сотрудниками представили «термоэкспресс – метод» (2017). А. В. Грязькин с сотрудниками (2012) выявили «изменчивость величины импеданса древесных пород» [10 – 12, 15, 16, 22] .

В настоящее время особое внимание уделяется изучению воздействия нефти на окружающую среду. Данная проблема нашла свое отражение также в работах О. Ksenzhek (2004), J. Fromm (2007), А.И. Григорьева (2008), Е.В. Донец (2012), Т.О. Перемитиной, И.Г. Яценко, М.Н. Алексеевой (2014), Д.В. Московченко, А.Г. Бабушкина (2014), S. Fissenko (2016), Simon Gilroy (2016), И.Е. Скобелевой, Р.Ш. Валеева (2018), А. В. Соромотина, Л.В. Бордт (2018), Feroza K. Choudhury (2018), Г.Ж. Кенжетаев, С.Е. Койбакова (2019), и ряда других авторов [11, 14, 17, 22 – 26, 28 – 32] .

В данной работе представлены результаты экспериментальной работы по изучению изменения уровня электрического сопротивления в прикамбиальном комплексе тканей (ПКТ)

березы повислой, произрастающей в условиях нефтешламового загрязнения при различных гидротермических режимах воздушной среды на протяжении 11 лет.

Цель исследования – изучить влияния гидротермического режима воздушной среды в условиях нефтешламового загрязнения почвогрунта на величину электрического сопротивления прикамбиального комплекса тканей стволов березы повислой.

Материалы и методы

Объект исследования – деревья березы повислой (*Betula pendula* Roth.), произрастающие в бассейне буферных прудов АО «Газпромнефть – «ОНПЗ» (г. Омск). Район исследования – центральная лесостепь юга Западной Сибири.

«Измерения проводили мультиметром МУ – 6, по методике Р.Г. Шеверножука (1968), нашей модификации [18, 27]. При регистрации электрического сопротивления оценивали распространения сигнала с восточной и западной части ствола деревьев березы». Для сравнения по годам использовались данные замеров ЭС ПКТ у деревьев березы в августе – сентябре в период начала пожелтения листьев и массового рассеивания семян. В исследовании были использованы данные гидротермического режима воздушной среды в городе Омске (Агрометеорологический бюллетень 2014 – 2020 гг.).

В период исследования проведено 2056 измерений ЭС ПКТ березы повислой.

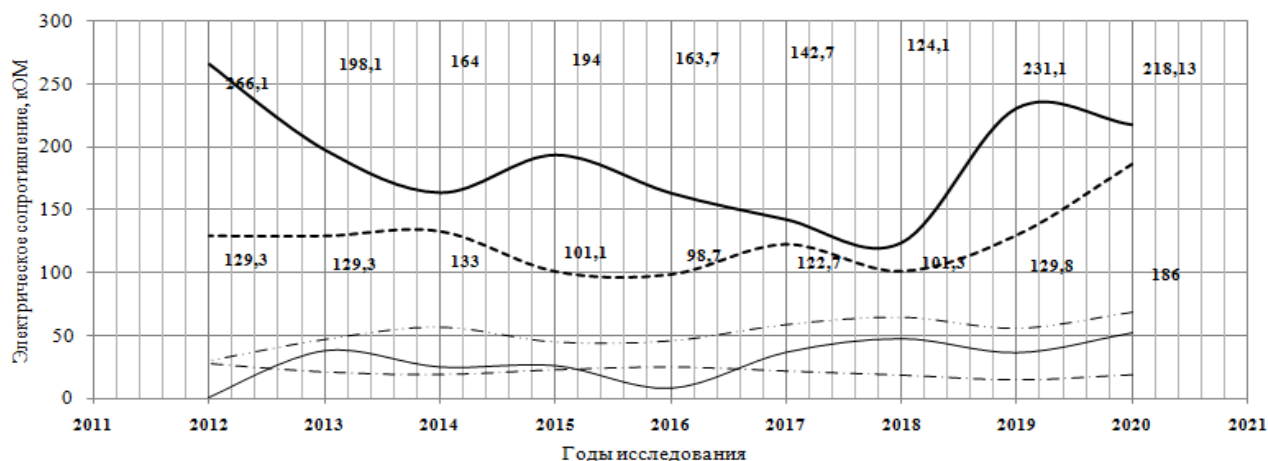
Результаты исследований были обработаны стандартными методами вариационной статистики, корреляционного анализа с использованием пакета Statistica 10. Сравнения вариантов опыта проводились по критериям Стьюдента.

Результаты и обсуждение

На протяжении всего исследования рассмотрена «зависимость между морфологическими признаками (диаметром, высотой ствола) и электрическим сопротивлением (ЭС) в условиях нефтешламового загрязнения, сезонное изменение уровня ЭС березы повислой, произрастающей в условиях нефтешламового загрязнения, данные подробно представлены в наших работах в период с 2010 по 2020 г.г.» [18 – 21].

Особенностью гидротермического режима в 2014 году являлось то, что в предыдущем периоде в течение июля преобладала холодная и дождливая погода, во второй декаде удерживалась теплая и дождливая погода. Вместе с тем, теплый август, в районе наших исследований наблюдается 1 раз в 25 лет [1], это и обеспечило при исключительно высокой температуре снижение ЭС на экспериментальном участке (температура воздуха в предыдущий день составила 35 °С, по данным метрологического бюллетеня за 3 декаду августа 2014). Тогда как на контрольном участке величина ЭС осталась в пределах значений (осталась на уровне последних 5 лет с момента закладки опыта 2010 года) (рис.).

Изменение уровня ЭС ПКТ березы повислой от гидротермического режима в период исследования



Условные обозначения:

- — среднесуточная температура воздуха, °С
- — сумма осадков, мм
- · - · - · — среднесуточная влажность воздуха, %
- — контрольная модельная группа деревьев березы повислой
- — экспериментальная модельная группа деревьев березы повислой

Рис. Диаграмма зависимости уровня электрического сопротивления прикамбиального комплекса тканей березы повислой от гидротермического режима воздушной среды

В 2015 году повышение ЭС на участке произошло на фоне резкого повышения температуры воздуха и дефицита осадков, так как температура воздуха в начале декады выросла до 28 °С при недостаточном атмосферном увлажнении, это создало дефицит водоснабжения в стволах деревьев березы. Однако, на контрольном участке, в условиях отсутствия нефтешламового загрязнения водообмен в стволах деревьев оказался оптимальным для жизнедеятельности [2].

В дальнейшем, в 2016 году наблюдается снижение ЭС в условиях экспериментального участка и, наряду с этим, без изменений на контрольном участке, это мы связываем с проявлением влияния нефтешлама на гидротермический режим почвенного покрова в условиях теплой и сухой погоды, такая теплая погода в Омске в первой декаде сентября в районе исследования отмечается один раз в 17 лет [3,4] на фоне отсутствия осадков к дате измерения ЭС ПКТ деревьев березы повислой.

В 2017 году в первые произошло существенное сближение в величинах ЭС на экспериментальном и контрольном участках, это произошло на фоне высоких температур и недобора осадков в предыдущий период, так 03 и 06 августа температура воздуха повышалась до 31°С [5] и резкое снижение температуры воздуха до 12 °С, а в приземном слое до 6 °С, количество осадков за первую декаду августа составило 10 мм (43% от нормы).

Аналогичная ситуация с резким понижением ЭС на экспериментальном и заметное снижение на контрольных участках произошло в условиях преобладания во второй декаде августа прохладной с осадками погодой [6,7] и наличием сильных ливней за два дня до момента измерения ЭС 21.08.2018.. в этот день в районе наших исследований выпало 34 мм осадков, что составило 213% от нормы, такое выпадение осадков в пункте исследования отмечается один раз в 12 лет. Данный гидрометеорологический режим с наличием большого количества осадков за предыдущий период и исключительно высокой температурой воздуха в день измерения (26 °С) обеспечил сходный уровень водообмена в стволах деревьев, что проявилось в несущественности различий ($\tau_{\text{факт}} < \tau_{0.5}$) в вариантах опыта. Данное предположение подтверждается даже более медленным темпом хода пожелтения листьев.

Особенно резкий подъем величины ЭС наблюдался в 2019 году, это было обусловлено высоким термическим режимом и недобором осадков в конце третьей декады августа [8], так 23 и 26 августа температура воздуха достигала 29 °С, вместе с тем к моменту измерения 02.09.2019 произошло резкое похолодание воздушной среды, так температура воздуха в этот день понизилась до 3 °С, а в приземном слое воздуха, на высоте 2-3 см от почвы составило - 2°С. Данный гидротермический режим более резко проявился на ЭС у деревьев на экспериментальном участке, чем у деревьев березы на контрольном участке. И это обусловило существенность различий между ними в величине ЭС ($\tau_{\text{факт}} > \tau_{0.5}$).

В 2020 году продолжается рост величины ЭС на контрольном участке и в условиях экспериментального участка наблюдается снижение, это мы связываем с влиянием нефтешлама в условиях теплой погоды с осадками [9]. Что привело к существенности различий величины ЭС в вариантах опыта ($\tau_{\text{факт}} > \tau_{0.5}$). Это означает, что учитывать также, что при проведении биомониторинговых исследований с использованием данных по ЭС в тканях деревьев следует детально учитывать гидротермический режим воздушной среды и почвенного покрова в период исследования.

Эти результаты позволяют нам отметить, что в исключительно периоды увлажнения влияние нефтешлама существенно ослабевает (2014, 2017 и 2018 годы), достигая уровня близкого контрольному участку. Данное предположение нашло подтверждение в последующие два года – 2019 и 2020. Так засушливый период в течение августа 2019 года к моменту проведения измерений ЭС обеспечили существенное различие в величине ЭС ПКТ у модельных деревьев березы. Однако, в 2020 году, наблюдалось их сближение за счет снижения величины ЭС ПКТ у деревьев в экспериментальной группе на фоне увеличения атмосферного увлажнения и повышения влажности воздуха. Вместе с тем, 2020 году эти различия, также как и в 2019 г., по величине ЭС оказались существенными и достоверными ($\tau_{\text{факт}} > \tau_{0.5}$) (табл.).

Таблица

**Корреляционная зависимость ЭС в ПКТ березы повислой от гидротермического режима
воздушной среды в районе исследования**

Показатели	Контрольная группа модельных деревьев березы повислой		Экспериментальная группа модельных деревьев березы повислой	
	r_{xy}	η_{xy}	r	η_{xy}
Среднесуточная температура воздуха, °С	0,77	0,59	0,85	0,72
Сумма осадков, мм	-0,5	- 0,54	-0,76	- 0,64
Относительная влажность воздуха, %	-0,54	- 0,67	-0,73	- 0,53

Заключение

Можно отметить высокий уровень ЭС был обусловлен в 2019 и 2020 годах формированием напряженного водообмена в аномальных условиях гидротермического режима воздушной среды и почвенного покрова. Последние два года при данных погодных условиях нефтешламовое загрязнение продолжало оказывать существенно отрицательное влияние на водообмен деревьев березы. Это указывает на достоверно негативное влияние нефтешламового загрязнения на состояние деревьев березы в условиях экспериментального участка в течение 11 лет.

При этом выявилась достоверно тесная и обратная связь ЭС ПКТ модельных деревьев березы с суммой осадков и относительной влажностью воздушной среды в период проведения измерений (таблица). Вместе с тем проявилась более высокая чувствительность модельных деревьев березы к гидротермическому режиму воздушной среды в условиях нефтешламового загрязнения.

Список литературы

- 1 Агromетeоролoгичeский бюллeтeнь № 17 – Омск ФГБУ Обь – Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2014. – 16 с.
- 2 Агromетeоролoгичeский бюллeтeнь № 17 – Омск ФГБУ Обь – Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2015. – 16 с.
- 3 Агromетeоролoгичeский бюллeтeнь № 18 – Омск ФГБУ Обь – Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2016. – 19 с.
- 4 Агromетeоролoгичeский бюллeтeнь № 19 – Омск ФГБУ Обь – Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2016. – 17 с.
- 5 Агromетeоролoгичeский бюллeтeнь № 16 – Омск ФГБУ Обь – Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2017. – 19 с.
- 6 Агromетeоролoгичeский бюллeтeнь № 17 – Омск ФГБУ Обь – Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2018. – 16 с.

- 7 Агрометеорологический бюллетень № 18 – Омск ФГБУ Обь – Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2018. – 20 с.
- 8 Агрометеорологический бюллетень № 18 – Омск ФГБУ Обь – Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2019. – 19 с.
- 9 Агрометеорологический бюллетень № 18 – Омск ФГБУ Обь – Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2020. – 19 с.
- 10 Адлер Э. Н. О зимостойкости березы бородавчатой и лещины лесной в Башкирии // Сезонные структурно – метаболические ритмы и адаптация древесных растений. – Уфа: Академия наук БФАН СССР, 1977. С. 110 – 122.
- 11 Григорьев А. И. Эколого – физиологические основы адаптации древесных растений в лесостепи Западной Сибири. Монография. – Омск: Из-во ОмГПУ. 2008. 196 с.
- 12 Голодрига П.Я., Осипов А.В. Экспресс-метод и приборы для диагностики морозостойчивости растений // Физиология и биохимия культурных растений. 1972.Т. 4. Вып. 6. С.650 – 655.
13. Грязькин А.В., Герасюта С.М., Бернацкий Д.П., Трубачева Т.А., Ковалев Н.В. Изменчивость величины импеданса древесных пород // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. СПб. 2012. Вып.198. С. 12 – 19.
14. Донец Е.В., Григорьев А. И. Влияние нефти на прорастание семян лесообразующих видов древесных растений подзоны южной тайги Омской области: монография. – Омск: Издательский дом «Наука». 2012. 164 с.
15. Ивакин, А. П. Оценка жароустойчивости овощных культур по электрическому сопротивлению тканей // Методы оценки устойчивости растений неблагоприятным условиям среды. – Л, 1976. С. 83–86.
16. Карасев В.Н., Карасева М.А., Романов Е.М., Мухортов Д.И. Термоэкспресс – метод ранней диагностики физиологического состояния сосны обыкновенной// Экология .2017 . №2 .С. 20 – 27 .– Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/591078>
17. Кенжетаев Г.Ж., Койбакова С.Е., Сырлыбеккызы Самал. Оценка негативного воздействия нефти на почвенный покров // Spint Time. 2019. 5 (1). 17. С. 22 – 24.
18. Курило Ю. А., Григорьев А. И. Электрическое сопротивление как показатель устойчивости древесных растений в условиях нефтяного загрязнения // Проблемы региональной экологии. 2010. № 5. С.111 – 116.
19. Курило Ю.А., Григорьев А.И. Изучение электрического сопротивления древесных растений в условиях нефтяного загрязнения почвы (на примере березы повислой) // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3; URL: <http://www.science-education.ru/123-17465>

20. Курило Ю.А., Григорьев А.И. Изучение влияния нефтешлама на жизнедеятельность древесных растений (на примере исследования электрического сопротивления *Betula pendula* Roth.) // Лесоведение. Москва: Изд-во Российской академия наук. 2019. С. 304 – 310.
21. Курило Ю.А., Григорьев А.И., Донец Е.В. Опыт по исследованию продолжительности влияния нефтяного загрязнения на характеристику биоэлектрического сопротивления березы повислой (*BETULA PENDULA ROTH.*) // [Вестник Нижневартковского государственного университета](#). 2020. № 1. С. 68 –74.
22. Маторкин А.А., Карасева М.А. Информативность импеданса прикамбиального комплекса тканей деревьев хвойных пород при диагностике их жизнеспособности // Современная физиология растений: от молекул до экосистем: материалы докладов Международной конференции. Часть 2. Сыктывкар, 2007. С. 265 – 266.
23. Московченко Д.В., Бабушкин А.Г. Нефтяное загрязнение поверхностных вод на территории ХМАО – Югры // Экология и промышленность России. Москва. 2014. С. 24 – 38.
24. Перемитина Т.О., Яценко И.Г., Алексеева М.Н. Комплексная оценка экологических рисков аварийных разливов нефти // Экология и промышленность России. Москва. 2014. – С. 22 – 25.
25. Скобелева И.Е., Валеев Р.Ш., Антропогенное воздействие разливов нефти на экологическую обстановку Западной Сибири // Сборник материалов: сборник материалов научно- практической конференции. 2018. С. 247 – 250.
26. Соромотин А. В., Бордт Л.В. Мониторинг растительного покрова при освоение нефтегазовых месторождений по данным многоканальной съемки LANDSAT // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Том 4. № 1. С. 37 – 49.
27. Шеверножук, Р. Г. Биоэлектрическая активность ели в насаждениях, методика ее измерения / Р. Г. Шеверножук // Лесной ж. 1968. № 4. С. 36 – 40.
28. Fissenko S., Fissenko M. Vegetation variations of electric resistance of trees // International Scientific Ravine № 18 (28) / International Scientific Ravine of Problems and Prospects of Modern Science and Education: XXVI International Scientific and Practical Conference. Boston, USA – 08 November. 2016. P. 39 – 43.
29. Ksenzhek O, Petrova S., Kolodyazhny M. Electrical properties of plant tissues. Resistance of a maize leaf // Bulg. J. Plant Physiol. 2004. 30 (3-4). P. 61–67.

30. Feroza K. Choudhury, Amith R. Devireddy, Rajeev K. Azad, Vladimir Shulaev, Ron Mittler Local and systemic metabolic responses during light-induced rapid systemic signaling //Plant Physiology Preview. Published on October 2, 2018, as DOI:10.1104/pp.18.01031.
31. Fromm J., Lautner S. Electrical signals and their physiological significance in plants //Plant, Cell and Environment (2007) 30, P 249–257.
32. Simon Gilroy, Maciej Białasek, Nobuhiro Suzuki, Magdalena Górecka, Amith R. Devireddy, Stanisław Karpinski, and Ron Mittler ROS, Calcium, and Electric Signals: Key Mediators of Rapid Systemic Signaling in Plants // Plant Physiology, July 2016, Vol. 171, pp. 1606–1615.
33. Lew Roger R. Pressure Regulation of the Electrical Properties of Growing Arabidopsis thaliana L. Root Hairs //Plant Physiol. (1996) 112, pp 1089-1100.