

УДК 630 \* 581.5 + 582.632.1

AGRIS F62

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/22-1/04>*Курило Ю.А., Григорьев А.И.*

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

*Kurilo Yu.A., Grigoriev A.I.*

**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**

**Аннотация.** Изучение процессов жизнедеятельности древесных растений электрометрическим методом при действии неблагоприятных факторов, в том числе нефтешламом, служит одним из адекватных методических подходов к оценке состояния древесных растений в лесных биогеоценозах. Цель исследования – изучить влияния гидротермического режима воздушной среды в условиях нефтешламового загрязнения почвогрунта на величину электрического сопротивления прикамбиального комплекса тканей стволов березы повислой. 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. Сравнения вариантов опыта проводились по критериям Стьюдента. Изучена зависимость электросопротивления прикамбиального комплекса тканей (ПКТ) ствола березы при различных режимах атмосферного увлажнения в условиях нефтешламового загрязнения почвогрунтов. Выявлена тесная зависимость изменения величины электрического сопротивления (ЭС) ПКТ от гидротермического режима воздушной среды как в контрольной, так и экспериментальной группах. По результатам наших многолетних исследований можно также отметить, что продолжительность существенного отрицательного влияния нефтешлама (при приведенной концентрации) на ЭС ПКТ деревьев березы в условиях лесостепной зоны Западной Сибири продолжает проявляться в течение одиннадцати лет ( $\tau_{\text{факт}} > \tau_{0.5}$ ). Полученные результаты могут быть использованы в скрининговых исследованиях состояния лесных биогеоценозов и при планировании и организации работ по биорекультивации на территории санитарно-защитных зон нефтеперерабатывающих предприятий и в районах нефтедобычи и транспортировки нефти. Результаты исследований были обработаны стандартными методами вариационной статистики, корреляционного, регрессионного и дисперсионного однофакторного анализов с использованием пакета Statistica 10.

**Ключевые слова:** береза повислая, прикамбиальный комплекс тканей, электрическое сопротивление,

**Abstract:** The study of the life processes of woody plants by the electrometric method under the influence of adverse factors, including oil sludge, serves as one of the adequate methodological approaches to assessing the state of forest biogeocenoses. The purpose of the study was to study the influence of the hydrothermal regime of the air environment in terms of sludge contamination of the soil by the amount of electrical resistance precompiling complex tissues of the trunks of silver birch. The object of the study is hanging birch trees (*Betula pendula* Roth) growing in the basin of buffer ponds of JSC Gazpromneft – ONPZ (Omsk). The research area is the central forest-steppe of the south of Western Siberia. Comparisons of the experience options were carried out according to the Student's criteria. The dependence of the electrical resistivity of the precambial tissue complex (PCT) of the birch trunk under different conditions of atmospheric moisture in the conditions of oil-sludge contamination of soils was studied. A close dependence of the change in the value of the electrical resistance (ES) of the PCT on the hydrothermal regime of the air environment in both the control and experimental groups was revealed. According to the results of our long-term studies, it can also be noted that the duration of a significant negative effect of oil sludge (at the given concentration) on the ES of birch trees in the conditions of the forest-steppe zone of Western Siberia continues to manifest itself for eleven years ( $\tau_{\text{факт}} > \tau_{0.5}$ ). The obtained results can be used in screening studies of the state of forest biogeocenoses and in planning and organizing biorecultivation activities in the territory of sanitary protection zones of oil refineries and in areas of oil production and transportation. The results of the studies were processed by standard methods of variational statistics, correlation, regression and variance univariate analyses using the Statistica 10 package.

электрометрический метод, нефтешламное загрязнение, гидротермический режим.

**Информация об авторах:** Курило Юлия Анатольевна, ORCID 0000-0001-6350-8053, SPIN-код 3779-921, канд. биол. наук, Омский государственный педагогический университет, г. Омск, Россия, [curilo.yu@yandex.ru](mailto:curilo.yu@yandex.ru), Григорьев Аркадий Иванович, SPIN-код 8412-9938, д-р биол. наук, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина; Омский государственный педагогический университет, г. Омск, Россия, [aigrigoryew@mail.ru](mailto:aigrigoryew@mail.ru)

**Keywords:** silver birch, primarily complex tissues, electrical resistance, electrometric method, oil sludge pollution, hydrothermal regime.

**About the authors:** Kurilo Julia Anatolyevna, ORCID 0000-0001-6350-8053, SPIN-code 3779-921, Ph.D., Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia, [curilo.yu@yandex.ru](mailto:curilo.yu@yandex.ru); Grigoriev Arkady Ivanovich, SPIN-код 8412-9938, Dr. habil., Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, Omsk, Russia, [aigrigoryew@mail.ru](mailto:aigrigoryew@mail.ru)

Курило Ю.А., Григорьев А.И. Влияние гидротермического режима на электрическое сопротивление прикамбиального комплекса тканей ствола березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в условиях нефтешламного загрязнения // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2022. № 1(57). С. 37–44. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/22-1/04>

Kurilo, Yu.A. & Grigoriev A.I. (2022). 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. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (1(57)), 37–44. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/22-1/04>

**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 нефтешламном загрязнении и динамике гидротермического режима воздушной среды.

Температура влияет на скорость диффузии, на скорость химических реакций, 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) изучал жароустойчивость 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. 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 работе представлены результаты одиннадцатилетней 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. *Целью исследования* стало изучение 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 г. Омске [1-9].

В период исследования проведено 2050 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 [18-21].

Особенностью гидротермического режима в 2014 г. 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 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<sup>0</sup>С, по данным метеорологического 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 г.) (рис.).

В 2015 г. повышение ЭС на участке произошло на фоне резкого повышения температуры воздуха и дефицита осадков, так как температура воздуха в начале декады выросла до 28<sup>0</sup>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 г. наблюдается снижение ЭС в условиях экспериментального участка и, наряду с этим, без изменений на контрольном участке, это 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.



Рис. Изменение уровня электрического сопротивления прикамбиального комплекса тканей березы повислой от гидротермического режима

В 2017 г. 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 3 и 6 августа температура воздуха повышалась до 31<sup>0</sup>С [5] и резкое снижение температуры воздуха до 12<sup>0</sup>С, а в приземном слое до 6<sup>0</sup>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 контрольном 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 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<sup>0</sup>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 г., это было обусловлено высоким термическим режимом и недобором осадков в конце третьей декады августа [8], так 23 и 26 августа температура воздуха достигала 29<sup>0</sup>С, вместе с тем к моменту измерения 02.09.2019 произошло резкое похолодание воздушной среды, так температура воздуха в этот день понизилась до 3<sup>0</sup>С, а в приземном слое воздуха, на высоте 2-3 см от почвы составило – 2<sup>0</sup>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 г. 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 гг.), достигая уровня близкого контрольному участку. Данное предположение нашло подтверждение в последующие два года – 2019 и 2020. Так засушливый период в течение августа 2019 г к моменту проведения измерений ЭС обеспечили существенное различие в величине ЭС ПКТ у модельных деревьев березы. Однако, в 2020 г., 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 г. 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	
	$r_{xy}$	$\eta_{xy}$	$r$	$\eta_{xy}$
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 г. и 2020 г. 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.

При проведении полевых электрометрических исследований древесных растений, следует учитывать физиологические особенности растений и техногенные условия их произрастания, а также наличия изменчивости величины импеданса древесных пород. В связи с тем, что, биоэлектрическое сопротивление отражает важные признаки жизнедеятельности растительных клеток древесных растений, то его эффективно использовать в качестве биофизического показателя для оценки состояния древесных растений при установлении предельно допустимого уровня нефтяного загрязнения, а так же в целях биоиндикации нефтяного загрязнения почвенного покрова.

Таким образом, по результатам наших многолетних исследований можно отметить, что продолжительность существенного отрицательного влияния нефтешлама (при приведенной концентрации) на ЭС ПКТ деревьев березы в условиях лесостепной зоны Западной Сибири продолжает проявляться в течении 11 лет.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Агрометеорологический бюллетень № 17. Омск: ФГБУ Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2014. 16 с.
2. Агрометеорологический бюллетень № 17. Омск: ФГБУ Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2015. 16 с.
3. Агрометеорологический бюллетень № 18. Омск: ФГБУ Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2016. 19 с.
4. Агрометеорологический бюллетень № 19. Омск: ФГБУ Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2016. 17 с.
5. Агрометеорологический бюллетень № 16. Омск: ФГБУ Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2017. 19 с.
6. Агрометеорологический бюллетень № 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. 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. 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. Омск: 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.
17. Кенжетаяв Г. Ж., Койбакова С. Е., Сырлыбеккызы С. Оценка негативного воздействия нефти на почвенный покров // Spirit Time. 2019. №5-1. 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 сопротивление древесных растений в условиях нефтяного загрязнения почвы (на примере березы повислой) // Современные проблемы науки и образования. 2015. №3. С. 546-546.
20. Курило Ю.А., Григорьев А.И. Изучение влияния нефтешлама на жизнедеятельность древесных растений (на примере исследования электрического сопротивления *Betula pendula* Roth.) // Лесоведение. 2019. №4. С. 304-310.
21. Курило Ю.А., Донец Е.В., Григорьев А.И. Опыт по исследованию продолжительности влияния нефтяного загрязнения на характеристику биоэлектрического сопротивления березы повислой (*Betula pendula* Roth.) // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2020. №1. С. 68-74. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/11>
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. Ч. 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. 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. 2014. С. 22-25.
25. Скобелева И.Е., Валеев Р.Ш. Антропогенное воздействие разливов нефти на экологическую обстановку Западной Сибири // Сборник материалов научно-практической конференции. 2018. С. 247-250.
26. Соромотин А.В., Бордт Л.В. Мониторинг растительного покрова при освоении нефтегазовых месторождений по данным многоканальной съемки LANDSAT // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Т. 4. №1. С. 37-49.
27. Шеверножук Р.Г. Биоэлектрическая активность ели в насаждениях, методика ее измерения // Лесной журнал. 1968. №4. С. 36-40.
28. Fissenko S., Fissenko M. Vegetation variations of electric resistance of trees // International scientific review. 2016. Vol. 18. №28. P. 39-43.
29. Ksenzhek O., Petrova S., Kolodyazhny M. Electrical properties of plant tissues: resistance of a maize leaf // Bulgarian Journal of Plant Physiology. 2004. Vol. 30. №3-4. P. 61-67.
30. Choudhury F.K., Devireddy A.R., Azad R.K., Shulaev V., Mittler R. Local and systemic metabolic responses during light-induced rapid systemic signaling // Plant physiology. 2018. Vol. 178. №4. P. 1461-1472. <https://doi.org/10.1104/pp.18.01031>
31. Fromm J., Lautner S. Electrical signals and their physiological significance in plants // Plant, cell & environment. 2007. V. 30. №3. P. 249-257. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01614.x>
32. Gilroy S., Białasek M., Suzuki N., Górecka M., Devireddy A.R., Karpinski S., Mittler R. ROS, calcium, and electric signals: key mediators of rapid systemic signaling in plants // Plant physiology. 2016. V. 171. №3. P. 1606-1615. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00434>
33. Lew R.R. Pressure regulation of the electrical properties of growing *Arabidopsis thaliana* L. root hairs // Plant Physiology. 1996. V. 112. №3. P. 1089-1100. <https://doi.org/10.1104/pp.112.3.1089>

#### REFERENCES

1. Agrometeorologicheskii byulleten' № 17 (2014). Omsk: FGBU Ob'-Irtyskoe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy. (in Russ.).
2. Agrometeorologicheskii byulleten' № 17 (2015). Omsk: FGBU Ob'-Irtyskoe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy. (in Russ.).
3. Agrometeorologicheskii byulleten' № 18 (2016). Omsk: FGBU Ob'-Irtyskoe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy. (in Russ.).
4. Agrometeorologicheskii byulleten' № 19 (2016). Omsk: FGBU Ob'-Irtyskoe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy. (in Russ.).
5. Agrometeorologicheskii byulleten' № 16 (2017). Omsk: FGBU Ob'-Irtyskoe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy. (in Russ.).
6. Agrometeorologicheskii byulleten' № 17 (2018). Omsk: FGBU Ob'-Irtyskoe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy. (in Russ.).
7. Agrometeorologicheskii byulleten' № 18 (2018). Omsk: FGBU Ob'-Irtyskoe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy. (in Russ.).
8. Agrometeorologicheskii byulleten' № 18 (2019). Omsk: FGBU Ob'-Irtyskoe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy. (in Russ.).
9. Agrometeorologicheskii byulleten' № 18. (2020). Omsk: FGBU Ob'-Irtyskoe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy. (in Russ.).
10. Adler, E.N. (1977). O zimostoikosti berezy borodavchatoi i leshchiny lesnoi v Bashkirii. In *Sezonnye strukturno-metabrolicheskie ritmy i adaptatsiya drevesnykh rastenii*, Ufa, 110-122. (in Russ.).
11. Grigor'ev, A.I. (2008). Ekologo-fiziologicheskie osnovy adaptatsii drevesnykh rastenii v lesostepi Zapadnoi Sibiri. Omsk. (in Russ.).
12. Peremitina, T.O., Yashchenko, I.G., & Alekseeva, M.N. (2014). Integrated assessment of environmental risks of emergency oil spills. In *Ecology and industry of Russia*, Moscow, 22-25. (in Russ.).
13. Gryazkin, A.V., Gerasyuta, S.M., Bernatsky, D.P., Trubacheva, T.A., & Kovalev, N. (2012). The variability of the magnitude of the impedance of tree species. *Bulletin of Saint-Petersburg forestry Academy*, 198, 12-19. (in Russ.).
14. Donets, E.V., & Grigoriev, A.I. (2012). Influence of oil on seed germination of forest-forming species of woody plants in the southern taiga subzone of the Omsk region. Omsk. (in Russ.).
15. Ivakin, A.P. (1976). Assessment of heat resistance of vegetable crops by electrical resistance of tissues. In *Methods for assessing plant resistance to adverse environmental conditions*, Leningrad, 83-86. (in Russ.).
16. Karasev, V.N., Karaseva, M.A., Romanov, E.M., & Mukhortov, D.I. (2017). Thermoexpress-a method of early diagnostics of the physiological state of scots pine. *Ecology*, (2), 20-27. (in Russ.).

17. Kenzhetaev, G.Zh., Koibakova, S.E., & Syrlybekkyzy, S. (2019). Otsenka negativnogo vozdeistviya nefi na pochvennyi pokrov. *Spirit Time*, (5-1), 22-24. (in Russ.).
18. Kurilo, Yu.A., & Grigoriev, A.I. (2010). Electrical resistance as an indicator of the stability of woody plants in the conditions of oil pollution. *Problems of regional ecology*, (5), 111-116. (in Russ.).
19. Kurilo, Yu.A., & Grigor'ev, A.I. (2015). Izuchenie elektricheskogo soprotivlenie drevesnykh rastenii v usloviyakh neftyanogo zagryazneniya pochvy (na primere berezy povisloi). *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, (3), 546-546. (in Russ.).
20. Kurilo, Yu.A., & Grigoriev A.I. (2019). Studying the influence of oil sludge on the vital activity of woody plants (on the example of the study of electrical resistance *Betula pendula* Roth.). In *Forest science*, Moscow, 304-310. (in Russ.).
21. Kurilo, Yu.A., Donets, E.V., & Grigoriev, A.I. (2020). Experience in the study of the duration of the influence of oil pollution on the characteristic of bioelectric resistance of birch (*Betula pendula* Roth). *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (1). 68–74. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/11>
22. Matorkin, A.A., & Karaseva, M.A. (2007). Informativeness of the impedance of the precambial complex of softwood tissues in the diagnosis of their viability. In *Modern plant physiology: from molecules to ecosystems: proceedings of the international conference*, Part 2, Syktyvkar, 265-266. (in Russ.).
23. Moskovchenko, D.V., & Babushkin, A.G. (2014). Oil pollution of surface waters on the territory of KHMAO-Yugra. In *Ecology and industry of Russia*, Moscow, 24-38. (in Russ.).
24. Peremitina, T.O., Yashchenko, I.G., & Alekseeva, M.N. (2014). Comprehensive assessment of environmental risks of emergency oil spills. In *Ecology and industry of Russia*, Moscow, 22-25. (in Russ.).
25. Skobeleva, I.E., & Valeev, R.Sh. (2018). Anthropogenic impact of oil spills on the ecological situation of Western Siberia. In *Collection of materials: collection of materials of scientific and practical conference*, 247-250. (in Russ.).
26. Soromotin, A.V., & Bordt, L.V. (2018). Monitoring of vegetation cover in the development of oil and gas fields according to multichannel survey LANDSAT. *Bulletin of the Tyumen state University. Ecology and nature management*, 4(1), 37-49. (in Russ.).
27. Severnjuk, R.G. (1968). The Bioelectrical activity of spruce in a stand method of measurement. *Forest journal*, (4), 36-40. (in Russ.).
28. Fissenko, S., & Fissenko, M. (2016). Vegetation variations of electric resistance of trees. *International scientific review*, 18(28), 39-43. (in Russ.).
29. Ksenzhek, O., Petrova, S., & Kolodyazhny, M. (2004). Electrical properties of plant tissues: resistance of a maize leaf. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 30(3-4), 61-67.
30. Choudhury, F. K., Devireddy, A. R., Azad, R. K., Shulaev, V., & Mittler, R. (2018). Local and systemic metabolic responses during light-induced rapid systemic signaling. *Plant physiology*, 178(4), 1461-1472. <https://doi.org/10.1104/pp.18.01031>
31. Fromm, J., & Lautner, S. (2007). Electrical signals and their physiological significance in plants. *Plant, cell & environment*, 30(3), 249-257. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01614.x>
32. Gilroy, S., Białasek, M., Suzuki, N., Górecka, M., Devireddy, A. R., Karpiński, S., & Mittler, R. (2016). ROS, calcium, and electric signals: key mediators of rapid systemic signaling in plants. *Plant physiology*, 171(3), 1606-1615. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00434>
33. Lew, R. R. (1996). Pressure regulation of the electrical properties of growing *Arabidopsis thaliana* L. root hairs. *Plant Physiology*, 112(3), 1089-1100. <https://doi.org/10.1104/pp.112.3.1089>

дата поступления: 25.08.2021

дата принятия: 10.11.2021

© Курило Ю.А., Григорьев А.И., 2022