

Ю. А. Курило, Е. В. Донец, А. И. Григорьев

**ОПЫТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЛИЯНИЯ НЕФТЯНОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКУ
БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (BETULA PENDULA ROTH.)**

Yu. A. Kurilo, E. V. Donets, A. I. Grigoriev

**EXPERIENCE IN THE STUDY OF THE DURATION
OF THE INFLUENCE OF OIL POLLUTION
ON THE CHARACTERISTIC OF BIOELECTRIC
RESISTANCE OF BIRCH (BETULA PENDULA ROTH)**

Аннотация. Исследование электрометрическим методом биоэлектрического сопротивления (ЭС) древесных растений при действии неблагоприятных факторов, в том числе при загрязнении нефтешламом, служит одним из адекватных методических подходов к оценке состояния лесных биогеоценозов. Цель исследования – изучить особенности влияния нефтешламового загрязнения почвогрунтов на продолжительность изменения биоэлектрического сопротивления прикамбиального комплекса тканей (ПКТ) 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. Результаты исследований были обработаны стандартными методами вариационной статистики, корреляционного, регрессионного и дисперсионного однофакторного анализов с использованием пакета Statistica 10. Сравнения вариантов опыта проводились по критериям Стьюдента и Фишера. Изучена зависимость электросопротивления ПКТ ствола березы от уровня нефтешламового загрязнения почвогрунтов. Разработана рекомендация по экспресс-оценке состояния деревьев березы повислой в условиях нефтешламового загрязнения электрометрическим методом. По результатам наших многолетних исследований можно отметить, что продолжительность существенного отрицательного влияния нефтешлама на ЭС ПКТ деревьев березы в условиях лесостепной зоны Западной Сибири проявляется в течение шести лет, на седьмой год эти различия являются недостоверными, а на девятый год эти различия стираются, исчезают ($\tau_{\text{факт}} > \tau_{0.5}$). 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, в районах нефтедобычи и транспортировки нефти.

Ключевые слова: береза повислая; прикамбиальный комплекс тканей; электрическое сопротивление; электрометрический метод; нефтяное загрязнение.

Abstract. the study of bioelectric resistance (impedance) of woody plants by electrometric method under the influence of adverse factors, including oil sludge, is one of the adequate methodological approaches to assessing the state of forest biogeocenoses. The aim of the study is to study the peculiarities of the influence of oil sludge pollution of soils on the duration of changes in the bioelectric resistance of the pre-cambial tissue complex of birch trunks. The object of the study is the trees of the hanging birch (*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. The results of the studies were processed by standard methods of variational statistics, correlation, regression and variance one-factor analysis using the package Statistica 10. Comparisons of experience variants were carried out according to student and Fisher criteria. The dependence of electrical resistance of birch trunk PCT (precompiling complex tissues) on the level of oil sludge pollution of soils was studied. A recommendation for rapid assessment of the condition of birch trees in the conditions of oil sludge pollution by electrometric method was developed. According to the results of our long-term studies, it can be noted that the duration of a significant negative impact of oil sludge on the electrical resistance precompiling complex tissues of birch trees in the forest-steppe zone of Western Siberia is manifested within six years, and in the seventh year these differences are not reliable and already in the ninth year-these differences disappear ($\tau_{\text{fact}} > \tau_{0.5}$). The results obtained can be used in screening studies of forest biogeocenoses and in the planning and organization of bioreculture activities on the territory of sanitary protection zones of oil refineries and in areas of oil production and oil transportation.

Key words: silver birch; primarily complex tissues; electrical resistance; electrometric method; oil sludge pollution.

Сведения об авторах: Курило Юлия Анатольевна, ORCID: 0000-0001-6350-8053, SPIN-код: 3779-9211, канд. биол. наук, Омский государственный педагогический университет, г. Омск, Россия, curilo.yu@yandex.ru; Донец Евгения Владимировна, SPIN-код: 5118-2719, канд. биол. наук, Омский государственный педагогический университет, г. Омск, Россия; Григорьев Аркадий Иванович, ORCID: 0000-0002-2373-7123, SPIN-код: 8412-9938, д-р биол. наук, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, г. Омск, Россия, aigrigoryew@mail.ru.

Information about the authors: Kurilo Yulia Anatolevna, ORCID: 0000-0001-6350-8053, SPIN-code: 3779-9211, Ph.D., Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia, curilo.yu@yandex.ru; Donets Evgenia Vladimirovna, SPIN-code: 5118-2719, Ph.D., Omsk state pedagogical University, Omsk, Russia; Grigoriev Arkady Ivanovich, ORCID: 0000-0002-2373-7123, SPIN-code: 8412-9938, Dr. habil., Omsk State Agrarian University. P. A. Stolypin, Omsk, Russia, aigrigoryew@mail.ru.

Введение

Изучение электрического сопротивления (ЭС) (импеданса) древесных растений при действии неблагоприятных факторов, в том числе при нефтешламовом загрязнении, служит одним из адекватных методических подходов к оценке состояния лесных экосистем [2; 3]. Анализ работ, посвященных диагностике заболеваний древесных растений, показал, что наиболее удобным в экспериментальном отношении и объективно отражающим особенности роста и развития древесных растений является прикамбиальный комплекс тканей ствола, анатомо-морфологические свойства которых могут быть оценены косвенно через их электрическое сопротивление [9]. У растений ведущую роль в восприятии многих биотических и абиотических факторов, а также в формировании клеточного ответа – сопротивления – на их воздействие играют плазматические мембраны, в которых возникает комплекс взаимосвязанных структурно-функциональных изменений, в число которых входит реакция мембранного потенциала. Электрический заряд на клеточной мембране является существенным фактором, влияющим на распределение заряженных частиц ионов, регулирующих обменные процессы. Известно, что электрические параметры клеток тесно связаны с функциональными особенностями тканей. Наличие поляризационной емкости является характерным показателем жизнеспособности живых клеток. Способность поляризовать ток и обусловленные этим зависимость электропроводности от частоты, сдвиг фаз, электрическое сопротивление являются характерной особенностью живых нормально функционирующих клеток. Б. Н. Тарусов (1938) предположил, что по электрическим параметрам клеток возможно определять жизнеспособность тканей, поскольку всякое воздействие, приводящее к повреждению или заболеванию, вызывает уменьшение абсолютной величины электрического сопротивления. Этот метод определения жизнеспособности тканей основан на способности живых клеток поляризовать электрический ток. Возникающий под действием тока заряд клеток и тканей изменяет поляризационную емкость, величина которой падает при снижении их жизнеспособности или отмирании. Интенсивность и характер обмена веществ в ткани выражаются в величине сопротивления, так как они обуславливают концентрацию и распределение ионов в тканях [22]. Позднее Ю. П. Каширо с сотрудниками (1988) отмечали, что электрическую модель клетки можно представить, как последовательное соединение активных сопротивлений.

Вообще, изучение физиологического состояния древесных растений в техногенных условиях весьма актуально с использованием современных экспресс-методов. Среди них наиболее перспективными представляются электрофизиологические методы, поскольку они непосредственно регистрируют характеристики клеточных мембран, тесно связанные с общей устойчивостью растений к стрессам [5; 6; 8; 15; 24–29]. К электрофизиологическим инструментальным методам относятся: диагностика по электрическому сопротивлению прикамбиального комплекса тканей [19], диагностика по электрическим потенциалам [11], экспресс-метод [1], термоэкспресс-метод [7]. А. А. Маторкиным (2007) предложен метод экспресс-оценки состояния деревьев по импедансу ПКТ и температуре стволов. Нами изучен, модифицирован и экспериментально применен электрометрический метод по изучению биоэлектрических реакций древесных растений на различные стресс-факторы, в частности, изучение электрического сопротивления в прикамбиальном комплексе тканей березы повислой [12–14].

В настоящее время особое внимание уделяется изучению воздействия нефти на экологическую обстановку в Западной Сибири. Этой проблеме посвящены работы Т. О. Перемитиной, И. Г. Ященко, М. Н. Алексеевой (2014), Д. В. Московченко, А. Г. Бабушкина (2014), И. Е. Скобелевой, Р. Ш. Валеева (2018), А. В. Соромотина, Л. В. Бордт (2018) и ряда других авторов.

В данной работе представлены результаты десятилетней экспериментальной работы по изучению изменения уровня электрического сопротивления в прикамбиальном комплексе тканей (ПКТ) березы повислой, произрастающей в условиях нефтешламового загрязнения.

Цель исследования – изучить особенности влияния нефтешламового загрязнения почвогрунтов на продолжительность изменения биоэлектрического сопротивления ПКТ 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.

В 2010 г. в начале первой декады мая (1 мая) был заложен опыт на участке размером 10×35 м с внесением нефтешлама в приствольные круги (с дозой 3,70 кг/м²) диаметром 2,0 м в пределах проекции кроны одиночно стоящих модельных деревьев березы экспериментальной группы и группы контроля, произрастающей в естественных условиях (рис. 1).



Рис. 1. Экспериментальная площадка на территории бассейна буферных прудов АО «Газпромнефть – ОНПЗ» (г. Омск)

Измерения проводили мультиметром МУ–6, ориентировались на методику Р.Г. Северножука (1968). При регистрации электрического сопротивления оценивали распространения сигнала с двух противоположных сторон ствола деревьев березы. Для сравнения по годам использовались данные замеров ЭС ПКТ у деревьев березы в августе, в период начала пожелтения листьев и массового рассеивания семян.

За период исследования проведено 2 050 измерений березы повислой.

Результаты исследований были обработаны стандартными методами вариационной статистики, корреляционного, регрессионного и дисперсионного однофакторного анализов с использованием пакета Statistica 10. Сравнения вариантов опыта проводились по критериям Стьюдента и Фишера.

Результаты и обсуждение

На протяжении всего исследования рассмотрена зависимость между морфологическими признаками (диаметром, высотой ствола) [12] и электрическим сопротивлением (ЭС) в условиях нефтешламового загрязнения [14], сезонное изменение уровня ЭС березы повислой [13], произрастающей в условиях нефтешламового загрязнения.

Полученные экспериментальные данные по исследованию электрического сопротивления прикамбиального комплекса тканей березы повислой за исследуемый период (2010–2019 гг.) показали, что продукты нефтешлама, попадая в почву, в экспериментальных условиях (деревья группы «В») приводят во все годы к изменению электрического сопротивления прикамбиального комплекса тканей (ПКТ) у модельных деревьев березы. Вместе с тем в контрольной группе деревьев березы динамика ЭС ПКТ являлась относительно стабильной и была достоверно существенно ниже по 2016 год, чем у модельных деревьев группы «В» ($\tau_{\text{факт}} > \tau_{0.5}$) (рис. 2).



Рис. 2. Динамика электрического сопротивления в период с 2010 по 2019 гг.

Данное явление мы рассматриваем, как результат подавления уровня обменных процессов, связанных с водообменом и в целом с состоянием корне-лиственной связи древесных растений. Можно говорить, что «привнесение на поверхность почвы продуктов техногенеза ведет к накоплению в ней техногенных элементов, изменению рН среды и разрушению почвенно-поглощающего комплекса. Негативное влияние нефтяных поллютантов проявляется не только на почвенных экосистемах месторождения, но и на других элементах окружающей среды» [10].

Следует особо отметить, что в течение трех лет после внесения нефтешлама величина ЭС устойчиво удерживалась на высоком уровне, что позволяет судить о продолжении проявления сильного влияния нефтешламового загрязнения на состояние ПКТ у модельных деревьев березы. Лишь на 4-й год наблюдалось резкое снижение (на 25,55%) величины электрического сопротивления в ПКТ у модельных деревьев березы, в 5-й, 6-й, 7-й годы – на 36,6; 32,97; 40,38% соответственно. На 8-й год после внесения нефтешлама также наблюдаем заметное различие ЭС (на 16,3%) у модельных деревьев экспериментальной группы по сравнению с контрольной группой. На 9-й год тенденция снижения в динамике ЭС ПКТ у модельных деревьев березы в экспериментальной группе сохранилась. Различия между ЭС ПКТ моделей деревьев березы в экспериментальной группе по сравнению с контролем сохраняется на прежнем уровне. В 2019 г. наблюдаем снижение ЭС в экспериментальной группе, в то время как в контрольной оно относительно стабильно. На основании этих данных можно признать, что существенно отрицательное влияние нефтешлама на жизнедеятельность березы повислой проявляется в течение семи лет. Это свидетельствует, что за этот период произошли процессы восстановления плодородия почвы и детоксикация отрицательно действующих ингредиентов разложения нефтешламов в почве.

Связь ЭС ПКТ у модельных деревьев как контрольной, так и экспериментальной групп с термическим режимом воздушной среды оказалась положительной и слабой ($r_{x,y} = 0,36$).

При проведении полевых электрометрических исследований древесных растений необходимо учитывать физиологические особенности растений и техногенные условия их произрастания, а также наличие изменчивости величины импеданса древесных пород [4; 23]. Поскольку биоэлектрическое сопротивление отражает важную роль в жизнедеятельности растительных клеток древесных растений, то его эффективно использовать в качестве биофизического показателя для оценки состояния древесных растений и биоиндикации нефтяного загрязнения почвенного покрова.

Таким образом, по результатам многолетних исследований можно отметить, что продолжительность существенного отрицательного влияния нефтешлама на ЭС ПКТ деревьев березы в условиях лесостепной зоны Западной Сибири проявляется в течение шести лет, на седьмой год эти различия являются недостоверными, и уже на девятый год эти различия исчезают, стираются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голодрига П. Я., Осипов А. В. Экспресс-метод и приборы для диагностики морозоустойчивости растений // Физиология и биохимия культурных растений. 1972. Т. 4. Вып. 6. С. 650–655.
2. Григорьев А. И. Эколого-физиологические основы адаптации древесных растений в лесостепи Западной Сибири. Омск, 2008.
3. Григорьев А. И. Электропроводность желудей у деревьев дуба, различающихся по срокам пожелтения и сбрасывания листьев // Материалы II межвузов. конф. молодых ученых Волго-Вятского региона. Йошкар-Ола, 1973. С. 11–13.
4. 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.
5. Ивакин А. П. Оценка жароустойчивости овощных культур по электрическому сопротивлению тканей // Методы оценки устойчивости растений неблагоприятным условиям среды. 1976. С. 83–86.
6. Зубкова Т. А., Мартынова Н. А., Белоусов В. М. Электрическое сопротивление структурных элементов биогеоценозов // Известия Иркутского государственного университета. 2011. Т. 4. № 2. С. 82–89.
7. Карасев В. Н., Карасева М. А., Романов Е. М., Мухортов Д. И. Термозкспресс – метод ранней диагностики физиологического состояния сосны обыкновенной // Экология. 2017. № 2. С. 20–27.
8. Катичева Л. А., Сурова Л. М., Шерстнева О. Н., Бушуева А. Н., Глинская Е. В., Воденев В. А. Изменение электрического сопротивления плазмалеммы клеток высшего растения при генерации переменного потенциала // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2013. № 3(1). С. 151–154.
9. Каширо Ю. П., Хасанов Н. Х., Дорожкин Е. М. Электрическое сопротивление тканей прикамбиального комплекса ствола у сосны обыкновенной и его диагностические возможности // Леса Урала и хозяйства в них. 1988. Вып. 14. С. 183–188.
10. Кенжетаев Г. Ж., Койбакова С. Е., Сырлыбеккызы Самал. Оценка негативного воздействия нефти на почвенный покров // Sprint Time. 2019. № 5(1)17. С. 22–24.
11. Коловский Р. А. Биоэлектрическая реакция корней сеянцев кедра на ионный состав среды // Физиолого-биохимические механизмы роста хвойных. Новосибирск, 1978. С. 89–95.
12. 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.
13. 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. С. 546.
14. 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.
15. Кушнеренко М. Д., Курчатова Г. П., Штефырца А. А., Печерская О. Н., Киевцова Е. В., Баштовая С. И. Комплексный метод определения жаро- и засухоустойчивости растений прибором «ТУРГОРОМЕР-1» (Т-1) // Экспресс-методы диагностики жаро-засухоустойчивости и сроков налива растений. 1986.
16. 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.
17. Московченко Д. В., Бабушкин А. Г. Нефтяное загрязнение поверхностных вод на территории ХМАО – Югры // Экология и промышленность России. 2014. № 4. С. 34–38.
18. Перемигина Т. О., Ященко И. Г., Алексеева М. Н. Комплексная оценка экологических рисков аварийных разливов нефти // Экология и промышленность России. 2014. № 11. С. 22–25.
19. Положенцев П. А., Золотов Л. А. Динамика электрического сопротивления тканей луба сосны как индикатор изменения их физиологического состояния // Физиология растений. 1970. Т. 17. Вып. 4. С. 830–835.
20. Скобелева И. Е., Валеев Р. Ш. Антропогенное воздействие разливов нефти на экологическую обстановку Западной Сибири // Сборник материалов международной научно-практической конференции. 2018. С. 247–250.
21. 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.
22. Тарусов Б. Н. Электропроводность как метод определения жизнеспособности ткани // Архив ботанических наук. 1938. Т. 52. Вып. 2. С. 5–16.
23. Шеверножук Р. Г. Биоэлектрическая активность ели в насаждениях, методика ее измерения // Лесной журнал. 1968. № 4. С. 36–40.
24. Фисенко С. М., Фисенко М. И. Вегетационные вариации электрического сопротивления деревьев // International scientific review. 2016. № 18(28). P. 39–43.
25. 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.
26. 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>
27. Fromm J., Lautner S. Electrical signals and their physiological significance in plants // Plant, cell & environment. 2007. Vol. 30. № 3. P. 249–257. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01614.x>

28. Gilroy S., Bialasek M., Suzuki N., Górecka M., Devireddy A. R., Karpiński S., Mittler R. ROS, calcium, and electric signals: key mediators of rapid systemic signaling in plants // *Plant physiology*. 2016. Vol. 171. № 3. P. 1606–1615. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00434>

29. Lew R. R. Pressure regulation of the electrical properties of growing *Arabidopsis thaliana* L. root hairs // *Plant Physiology*. 1996. Vol. 112. № 3. P. 1089–1100. <https://doi.org/10.1104/pp.112.3.1089>

REFERENCES

1. Golodryga, P. Y., & Osipov, V. A. (1972). Ekspress-metod i pribory dlya diagnostiki morozoustoichivosti rastenii. *Fiziologiya i biokhimiya kul'turnykh rastenii*, 4(6). 650-655.
2. Grigoriev, A. I. (2008). Ekologo-fiziologicheskie osnovy adaptatsii drevesnykh rastenii v lesostepi Zapadnoi Sibiri. Omsk.
3. Grigoriev, A. I. (1973). Elektroprovodnost' zheludei u derev'ev duba, razlichayushchikhsya po srokam pozhelteniya i sbrasyvaniya list'ev. In *Materialy II mezhdunarod. konf. molodykh uchenykh Volgo-Vyatskogo regiona, Yoshkar-Ola*. 11-13.
4. Gryazkin, A. V., Gerasyuta, S. M., Bernatsky, D. P., Trubacheva, T. A., & Kovalev, N. (2012). Izmenchivost' velichiny impedansa drevesnykh porod. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, (198). 12-19.
5. Ivakin, A. P. (1976). Otsenka zharoustoichivosti ovoshchnykh kul'tur po elektricheskomu soprotivleniyu tkanei. In *Metody otsenki ustoichivosti rastenii neblagopriyatnym usloviyam srede*, 83-86.
6. Zubkova, T. A., Martynova, N. A. & Belousov, V. M. (2011). Elektricheskoe soprotivlenie strukturnykh elementov biogeotsenozov. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta*, 4(2). 82-89.
7. Karasev, V. N., Karaseva, M. A., Romanov, E. M., & Mukhortov, D. I. (2017). Termoekspress – metod rannei diagnostiki fiziologicheskogo sostoyaniya sosny obyknovЕННОi. *Ekologiya*, (2). 20-27.
8. Katycheva, L. A., Surova, L. M., Sherstneva, O. N., Bushueva, A. N., Glinskaya, E. V., & Vodeneev, V. A. (2013). Izmenenie elektricheskogo soprotivleniya plazmalemy kletok vysshego rasteniya pri generatsii variabel'nogo potentsiala. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo*, 3(1). 151-154.
9. Kashiro, Yu. P., Khasanov, N. H., & Dorozhkin, E. M. (1988). Elektricheskoe soprotivlenie tkanei prikambial'nogo kompleksa stvola u sosny obyknovЕННОi i ego diagnosticheskie vozmozhnosti. *Lesy Urala i khozyaistva v nikh*, 14. 183-188.
10. KENZHETAYEV, G. Z., KOIBAKOV, S. E., & SYLLABICITY, Samal. (2019). Otsenka negativnogo vozdeistviya nefiti na pochvennyi pokrov [Assessment of the negative impact of oil on soil cover]. *Spint Time*, 5(1)17. 22 – 24.
11. Kolovsky, R. A. (1978). Bioelektricheskaya reaktsiya kornei seyantsev kedra na ionnyi sostav srede. In *Fiziologo-biokhimicheskie mekhanizmy rosta khvoynykh*, 89-95.
12. Kurilo, Yu. A., & Grigoriev, A. I. (2010). Elektricheskoe soprotivlenie kak pokazatel' ustoichivosti drevesnykh rastenii v usloviyakh neftyanogo zagryazneniya. *Problemy regional'noi ekologii*, (5). 111-116.
13. Kurilo, Yu. A., & Grigoriev, A. I. (2015). Izuchenie elektricheskogo soprotivleniya drevesnykh rastenii v usloviyakh neftyanogo zagryazneniya pochvy (na primere berezy povislloi). *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, (3). 546.
14. Kurilo, Yu. A., & Grigoriev, A. I. (2019). Izuchenie vliyaniya nefteshlama na zhiznedeyatel'nost' drevesnykh rastenii (na primere issledovaniya elektricheskogo soprotivleniya *Betula pendula* Roth.). *Lesovedenie*, (4). 304-310.
15. Kushnerenko, M. D., Kurchatova, G. P., Shtefyrtsa, A. A., Pecherskaya, O. N., Kyivtsova, E. V., & Bashtova, S. I. (1986). Kompleksnyi metod opredeleniya zharo- i zasukhoustoichivosti rastenii priborom "TURGOROMER-1" (T-1). *Ekspress-metody diagnostiki zharo-zasukhoustoichivosti i srokov naliva rastenii*, 33.
16. Matorkin, A. A., & Karaseva, M. A. (2007). Informativnost' impedansa prikambial'nogo kompleksa tkanei derev'ev khvoynykh porod pri diagnostike ikh zhiznesposobnosti. In *Sovremennaya fiziologiya rastenii: ot molekul do ekosistem: materialy dokladov Mezhdunarodnoi konferentsii*, (2). Syktyvkar, 265-266.
17. Moskovchenko, D. V., & Babushkin, A. G. (2014). Neftyanoe zagryaznenie poverkhnostnykh vod na territorii KhMAO – Yugry. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, (4) 34-38.
18. Peremitina, T. O., Yashchenko, I. G., & Alekseeva, M. N. 2014. Kompleksnaya otsenka ekologicheskikh riskov avariynykh razlivov nefiti. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, (11). 22-25.
19. Polozhentsev, P. A., & Zolotov, L. A. (1970). Dinamika elektricheskogo soprotivleniya tkanei luba sosny kak indikator izmeneniya ikh fiziologicheskogo sostoyaniya. *Fiziologiya rastenii*, 17(4). 830-835.
20. Skobeleva, I. E., Valeev, R. Sh. (2018). Antropogennoe vozdeistvie razlivov nefiti na ekologicheskuyu obstanovku Zapadnoi Sibiri. In *Sbornik materialov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 247-250.
21. Soromotin, A. V., & Bordt, L. V. (2018). Monitoring rastitel'nogo pokrova pri osvoenii neftegazovykh mestorozhdenii po dannym mnogokanal'noi s"emki LANDSAT. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie*, 4(1). 37-49.
22. Tarusov, B. N. (1938). Elektroprovodnost' kak metod opredeleniya zhiznesposobnosti tkani. *Arkhiv botanicheskikh nauk*, 52(2). 5-16.
23. Severnjuk, R. G. (1968). Bioelektricheskaya aktivnost' eli v nasazhdeniyakh, metodika ee izmereniya. *Lesnoi zhurnal*, (4). 36-40.
24. Fissenko S., Fissenko M. 2016. Vegetation variations of electric resistance of trees. *International scientific review*, 18(28). 39-43.
25. 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.
26. 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>
27. 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>

28. Gilroy, S., Bialasek, 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>

29. 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>

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 Нижневартковского государственного университета. 2020. № 1. С. 68–74. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/11>

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>

дата поступления: 08 ноября 2019 г

дата принятия: 06 декабря 2019 г.
© Курило Ю.А., Донец Е.В., Григорьев А.И.