

mixed with sallow *S. caprea*. The need for thinning is minimal to form this plantation.

Keywords: *increase forest sustainability, prevention of forest pests, biotechnical activity, forest plantations, melliferous plants, and nectar-bearing capacity*

Об авторах:

ШАРЫГИН Александр Михайлович – кандидат сельскохозяйственных наук, начальник отдела лесного мониторинга и древесного контроля, ООО «ЗДОРОВЫЙ ЛЕС», 125362, Москва, Строительный проезд, 7а/3, e-mail: ash@zles.ru

КРИВЦОВА Александра Владимировна – исполнительный директор, ООО «Эко Регион Лаб», 241035, Брянск, ул. Бурова, 12а, e-mail: krivtsova@eco-region-lab.pro

Шарыгин А.М. Профилактика лесных энтомовредителей с помощью нектаропродуцентов / А.М. Шарыгин, А.В. Кривцова // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2020. № 2(58). С. 75-83.

БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ОХРАНА ПРИРОДЫ

УДК 581.55 (470.55)

РЕЗУЛЬТАТЫ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ЭДАФОТОПОВ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ПОРОД В АШИНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ПРИРОДНОМ

БИОЛОГИЧЕСКОМ ЗАКАЗНИКЕ (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

П.В. Левченко¹, И.А. Гетманец², В.П. Викторов¹

¹Московский педагогический государственный университет, Москва

²Челябинский государственный университет, Челябинск

Представлены результаты изучения аллелопатической активности *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., *Ulmus glabra* Huds методом биотестирования. Выявлены различия воздействия аллелохимикатов на прорастание семян и развитие проростков тест-объекта в контролируемых условиях. Показана корреляция концентрации водных вытяжек листового опада и аллелопатического эффекта, оказываемого ими, которая подтверждена анализом функции средней.

Ключевые слова: аллелопатия, ценопопуляции деревьев, листовой опад, математический анализ.

DOI: 10.26456/vtbio151

Введение. Аллелопатия в сочетании с конкуренцией за ресурсы и действием абиотических факторов, в том числе эдафотопических, детерминирует рост растений, что учитывается при разработке методических подходов для выявления предполагаемых аллелопатических взаимодействий (Inderjit N., Weiner J., 2001). И хотя не все аллелопатические эффекты, по мнению А.М. Гродзинского (1991) и Н.М. Матвеева (1994) являются результатом прямого воздействия растений, существует множество примеров такого проявления, и они по-прежнему представляют интерес для исследователей.

Изучение закономерностей накопления соединений вторичного метаболизма почвенно-поглощающим комплексом представляет одну из центральных задач исследования феномена аллелопатии. Для обозначения процесса выделения аллелопатически активных веществ в почву, А.М. Гродзинским предложен термин «аллелопатическое почвоутомление», под которым понимается снижение плодородия почвы вследствие накопления аллелохимикатов (Гродзинский, 1989).

Аллелопатическое почвоутомления хорошо изучено в агрофитоценозах на сельскохозяйственных культурах (Юрчак, 2005; Samuel etc, 2005; Демина, 2018). В естественных растительных сообществах подобные исследования осложняются проявлением синергизма факторов помимо аллелопатии (Миркин, 1991; Wardle, 1998). В связи с чем, для понимания механизма аллелопатических взаимодействий предложены лабораторные и вегетационные опыты, в которых используют метод биотестирования (Кондратьев, 2014; Santonja M, Bousquet-Mélou A etc, 2019). Объективная сложность которых заключается как в подборе тест-объектов, так и в

моделировании условий, приближенных к естественным.

В настоящей работе, цель которой биотестирование почвы и вытяжек листового опада некоторых видов широколиственных пород, представлены предварительные результаты оценки их аллелопатической активности.

Исследования и отбор материала проведены в Ашинском государственном природном биологическом заказнике, расположенном в провинции западных предгорий горно-лесной зоны Уральской горной страны, в подзоне широколиственных и елово-пихтовых лесов с высоким травостоем на территории Челябинской области (Андреева, Маркова, 2002; Колесников, 1961). Согласно агрометеорологическому районированию, заказник расположен в первом (I) агроклиматическом районе – прохладном и влажном, с резкими климатическими контрастами, коротким дождливым летом, продолжительной и снежной зимой (Агроклиматические..., 1977), что в сочетании с хребтово-увалистым рельефом на западном макросклоне Уральского хребта делает возможным существование единственных сохранившихся в Челябинской области реликтовых широколиственных лесов.

Материал и методика. В соответствии со стандартной методикой (Методические подходы..., 2010) геоботанических описания для древесных растений заложены площадки (20x20 м) и проведено их описание в юго-восточной части заказника в сообществах реликтовых широколиственных лесов. В соответствии с общепринятой методикой (Гродзинский, 1979) были отобраны образцы почвы прикорневой зоны и лесной подстилки в ассоциациях естественных фитоценозов с эдификаторами *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., *Ulmus glabra* Huds.

В качестве тест-объекта выбран *Linum sativa* L., обладающий высокой всхожестью семян (Казеев, 2016) и чувствительностью к аллелопатическим веществам (Bousquet-Mélouetal., 2005; Fernandez et al., 2006).

Лабораторные исследования основаны на методике Santonja M, Bousquet-Mélou Aetc (2019) с некоторыми модификациями. В частности, для контроля использован универсальный питательный торфяной грунт, а также для полива в отличие от методики вышеприведенных авторов применены вытяжки листового опада древесных растений.

Приводим схему опыта (рис1).

Семена тест-объекта в количестве (15 шт.) высевались в почву прикорневой зоны (50 г.) трех исследуемых видов. Для контрольного опыта использован субстрат, предварительно высушенный при температуре 103°C.



Рис. 1. Схема опыта

Опыт заложен в пластиковых прозрачных стаканах, как показано на схеме (рис.1). Для репрезентативности эксперимента он заложен в трехкратной повторности. Полив семян в объеме 5 мл, осуществлялся через день водной вытяжкой листового опада подстилки следующих концентраций (1/100, 1/25, 1/50 и 1/100). Время экспозиции – 12 дней при контролируемом освещении с фотопериодом в 15 часов дневного режима и температурой ($21 \pm 1^\circ \text{C}$).

Процент прорастания семян рассчитан по формуле [(количество проросших семян) / (количество посеянных семян)] \times 100% (Гродзинский, 1979). В соответствии с используемой методикой измерена длина главного корня проростка на пятый день.

Рассчитан индекс относительного аллелопатического эффекта (I) по формуле

$$I = (O - C) / C,$$

где O – это значение признака (прорастание или рост), а C – среднее значение этого признака в контрольных условиях. Отрицательное значение индекса указывает на ингибирующий эффект, тогда как положительное его значение указывает на стимулирующий эффект (Симагина, 2011; Gavinetetal., 2019).

Анализ арифметической ошибки измерений проведен по стандартной методике, используемой в работах биологической направленности (Рокицкий, 1973).

Для графического отображения данных использован программный комплекс STATISTICA v. 12.

Для анализа квазилинейных зависимостей применен метод построения средней линии. Выведено уравнение средней в виде $y=kx+b$, в котором y – всхожесть семян тест объекта или индекс аллелопатической активности, x – концентрация водных вытяжек листового опада. Коэффициент k в линейных уравнениях такого вида равен тангенсу угла наклона графика, то есть угла между графиком и осью абсцисс. В работе он отражает степень и характер зависимости всхожести семян, длины главного корня льна от различных

концентраций растворов листового опада.

Результаты и обсуждение. Анализ результатов опыта показал, что существует прямая зависимость между всхожестью семян льна, скоростью роста проростков тест-объекта и концентрацией вытяжек. Наибольшим ингибирующим эффектом на всхожесть семян льна оказывают водные вытяжки листового опада дуба в концентрации 1/10 в вариантах опыта на почве и субстрате (рис. 2, 3).

На почвах прикорневого слоя минимальная всхожесть к контролю составляет 0%, 68%, 45%, а максимальная 78,40%, 94,30%, 55,40% для *Q. robur*, *U. glabra*, *A. platanoides*, соответственно. Максимальная всхожесть семян *L. sativa* после полива вытяжками листового опада *U. glabra* на почвах прикорневой зоны составила 94,3%, что находится в пределах математической погрешности ($\pm 5,8\%$). Кроме того, самая большая амплитуда ($\approx 67\%$) процентной оценки всхожести семян тест-объекта в зависимости от концентрации растворов выявлена в опыте с *Q. robur*.

Так же, следует отметить, что всхожесть семян, прорастающих на субстрате после полива вытяжками листового опада *U. glabra*, *A. platanoides* концентраций 1/100 и 1/50 практически не отличается (их интервал находится в пределах ошибки). Это на наш взгляд связано с более высокой адсорбционной способностью субстрата в сравнении с почвой местообитания.

Анализ линейных функций средней линии для графика всхожести показал, что существует обратная зависимость между всхожестью и концентрацией вытяжек листового опада, используемых для полива. Об этом свидетельствует тот факт, что коэффициент k во всех случаях отрицательный.

Максимальный модуль коэффициента отмечен в уравнении функции средней, отражающей зависимость всхожести семян тест-объекта от концентраций вытяжек листового опада *Q. robur* на торфяном грунте, что говорит о том, что в вопросе воздействия аллелохимикатов дуба на виды-реципиенты их концентрация в среде играет более важную роль, нежели у двух других видов. Так же, большое значение модуля k может свидетельствовать о наличии нелинейной связи между факторами, что требует дальнейших исследований. Напротив, модули коэффициентов меньше единицы свидетельствуют о квазилинейном характере зависимости.

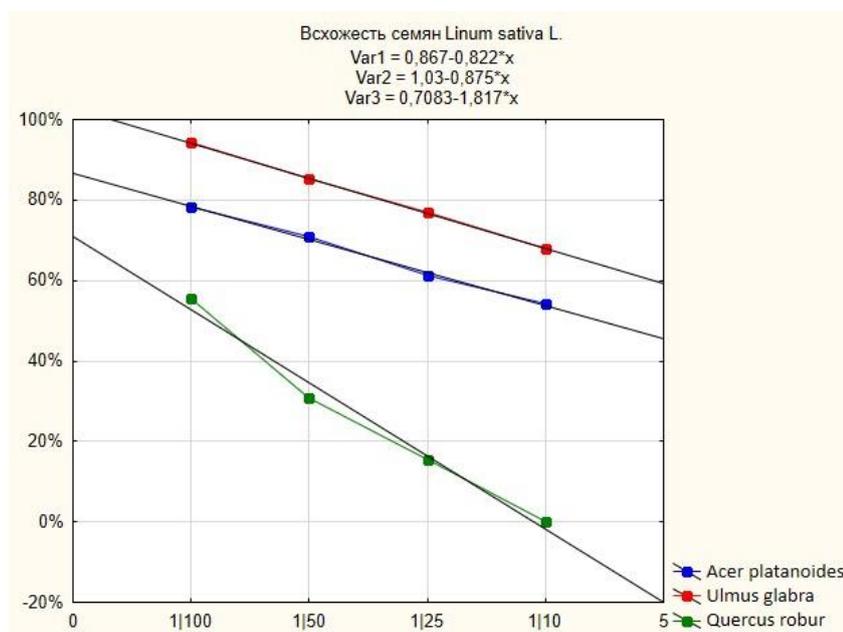


Рис. 2. Всхожесть семян льна в зависимости от вытяжек листового опада на почве прикорневой зоны

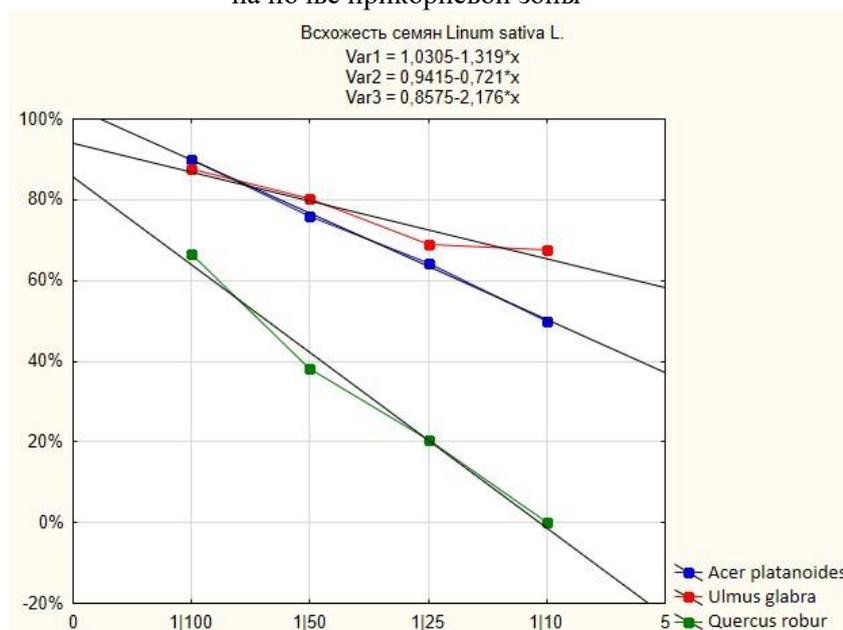


Рис. 3. Всхожесть семян льна в зависимости от вытяжек листового опада на торфяном грунте

Рассчитанный индекс относительной аллелопатической активности показал, что в некоторых случаях, несмотря на ингибирующий эффект на процессы прорастания семян тест-объектов, наблюдается стимулирующий эффект на ростовые процессы его

проростков. (табл.1,2). Эта особенность наблюдается в опытах с вытяжками листового опада *A. platanoides* на почве из местообитания ($I=0.51$ для концентрации 1/100). В этом же варианте эксперимента, но с опадом *U. glabra* индекс находится в пределах от 0,1 до -0,17, что близко к пределам рассчитанной арифметической ошибки ($\pm 0,078$).

Таблица 1

Индекс относительной аллелопатической активности в опыте с почвой прикорневого слоя

	<i>Acer platanoides</i>	<i>Ulmus glabra</i>	<i>Quercus robur</i>
1 100	0,51	0,1	-0,12
1 50	0,38	0,1	-0,41
1 25	0,18	-0,05	-0,62
1 10	-0,12	-0,17	-1

Таблица 2

Индекс относительной аллелопатической активности в опыте торфяным грунтом

	<i>Acer platanoides</i>	<i>Ulmus glabra</i>	<i>Quercus robur</i>
1 100	0,17	0,1	-0,23
1 50	-0,1	0,08	-0,19
1 25	-0,21	-0,06	-0,43
1 10	-0,38	-0,21	-1

Корреляция индекса относительной аллелопатической активности и концентрации водных растворов листового опада отражена на рис.4,5. Графики иллюстрируют обратную связь между величиной индекса и концентрацией водных вытяжек, используемых для полива, о чем свидетельствуют приведенные формулы линейной функции средней для результатов подсчета индекса относительной аллелопатической активности.

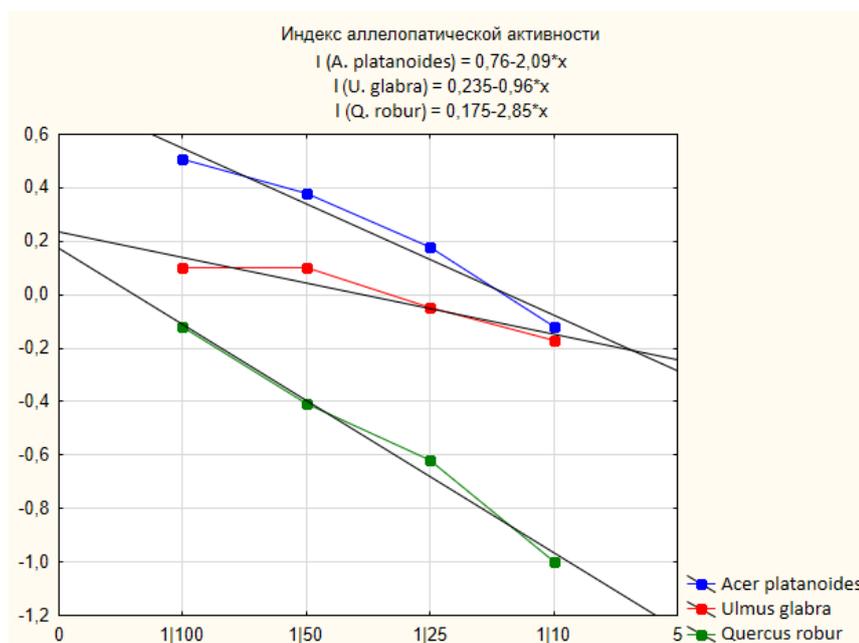


Рис. 4. Индекс аллелопатической активности для варианта опыта с почвой прикорневой зоны местообитаний исследуемых видов.

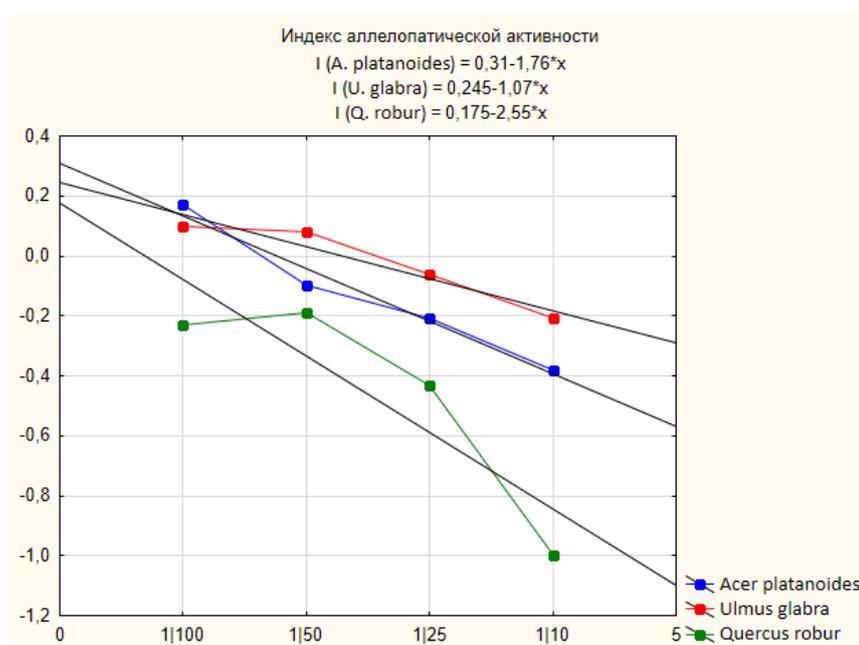


Рис. 5. Индекс для аллелопатической активности для варианта опыта с торфяным грунтом

Как видно, график линейной функции в большинстве случаев совпадает с графиком полученных данных. Исключение составляет

лишь средняя индекса в опытах с вытяжками опада *Q. robur* на грунте. Зависимость в этом случае скорее носит экспоненциальный характер, о чем свидетельствует большое значение модуля коэффициента k (2,55). Показательным является пересечение линий средних графиков для опытов с опадом *A. platanoides* и *U. glabra*, что иллюстрирует одинаковый эффект воздействия на ростовые процессы проростков льна соответствующих концентрациях водных вытяжек.

Выводы. Наши исследования показали, что аллелопатический эффект воздействия на прорастание и развитие проростков *L. sativa* зависит как от концентраций водных вытяжек листового опада, используемых для полива, так и от субстрата.

Наибольший ингибирующий эффект выявлен в опытах воздействия с листовым опадом и почвой прикорневого слоя *Q. robur* на тест-объект.

Показана достоверная обратная зависимость всхожести семян, длины главного корня льна от различных концентраций растворов листового опада.

Влияние аллелохимикатов *A. platanoides* и *U. glabra* на всхожесть и ростовые процессы *L. sativa* в одних и тех же условиях, может носить разнонаправленный характер, то есть ингибировать всхожесть и стимулировать рост главного корня.

Список литературы

- Гродзинский А.М., Богдан Г.П., Головки Э.А., Дзюбенко Н.Н., Мороз П.А., Прутенская Н.И. 1979. Аллелопатическое почвоутомление. Киев: Наукова думка. 248 с.
- Демина О.С., Кондратьев М.Н., Ларилова Ю.С. 2018. Эффект корневых выделений культурных растений на рост сорных видов // Природа. № 1. С. 59-64.
- Кретьинин В.М. 1982. Почвоулучшающая роль отдельных древесных пород и кустарников // Эрозия почв, защитное лесоразведение и урожай. Куйбышев. С.89-97.
- Матвеев Н.М. 1994. Аллелопатия как фактор экологической среды. Самара. 206 с.
- Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. 2016. Методы биодиагностики наземных экосистем: монография. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета. 356 с.
- Кондратьев М.Н., Карпова Г.А., Ларилова Ю.С. 2014. Взаимосвязи и взаимоотношения в растительных сообществах: учебное пособие. М.: Изд. РГАУ-МСХА. 300 с.
- Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки. 2010 / Л.Б. Заугольникова, Т.Ю. Браславская (отв.ред.). М.: Товарищество научных изданий КМК. 383 с.
- Миркин Б.М., Усманов И.Ю. 1991. Аллелопатия. Состояние теории методы

- изучения // Журнал общей биологии. Т. 52. № 5. С. 646-655.
- Рокицкий П.Ф. 1973. Биологическая статистика. 3-е изд. испр. Минск. Высшая школа. 320 с.
- Семенова Е.Ф., Преснякова Е.В., Морозкина Н.А., Фадеева Т.М. 2011. Аллелопатическая оценка льна культурного *Linum usitatissimum* L. // Масличные культуры. №1. С. 146-147.
- Симагина Н.О., Лысякова Н.Ю. 2011. Динамика аллелопатической активности *Vulpurum fruticosum* L. в течение вегетации онтогенеза // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Т. 24 (63). № 4. С. 273-281.
- Юрчак Л.Д. 2005. Аллелопатія в агробіоценозах ароматичних рослин. Київ: Фітосоціоцентр. 411 с.
- Bousquet-Mélou A., Sophie L., Robles C., Greff S., Dupouyet S., Fernandez C. 2005. Allelopathic potential of *Medicago arborea*, a Mediterranean invasive shrub // Chemoecology. V. 15. P. 193-198.
- Gavinet J., Santonja M., Baldy V., Hashoum H., Peano S., Tchong T., Bousquet-Mélou A. 2019. Phenolics of the understory shrub *Cotinus coggygria* as driver of Mediterranean oak forests diversity and dynamics. Forest Ecology and Management. № 441. P. 262-270.
- Weiner N.J. 2001. Plant allelochemical interference or soil chemical ecology // Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. V. 4. № 1. P. 3-12.
- Samuel P. Orr, Jennifer A. Rudgers, Keith Clay. 2005. Invasive plants can inhibit native tree seedlings: testing potential allelopathic mechanisms // Plant Ecology. V. 181. P. 153-165.
- Santonja M., Bousquet-Mélou A., Greff S., Ormeño E., Fernandez C. 2019. Allelopathic effects of volatile organic compounds released from *Pinus halepensis* needles and roots // Ecol. Evol. V. 9. P. 8201-8213.
- Wardle D.A., Nilsson M.C., Gallet V., Zackrisson O. 1998. An ecosystem-level perspective of allelopathy // Biol. Rev. V. 73. P. 305-319.

**BIOTESTING THE EDAFOTOPES OF SOME SPECIES OF
BROAD-LEAVED TREES IN ASHINSKIY STATE NATURAL
BIOLOGICAL RESERVE (CHELYABINSK REGION)**

P.V. Levchenko¹, I.A. Getmanets², V.P. Viktorov¹

¹Moscow State Pedagogical University, Moscow

²Chelyabinsk State University, Chelyabinsk

Here we present the results of studying the allelopathic activity of *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., *Ulmus glabra* Huds by biotesting. We revealed differences in the effect of allelochemicals on seed germination and the development of seedlings of the test object under controlled conditions. The correlation of the concentration of aqueous extracts of leaf litter and the allelopathic effect exerted by them is shown. The mentioned correlation is confirmed by the analysis of the average

function.

Keywords: *allelopathy, coenopopulations of trees, leaf litter, mathematical analysis.*

Об авторах:

ЛЕВЧЕНКО Павел Владимирович – аспирант, ФГБОУ ВО «Московский государственный педагогический университет», 119991, Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1, стр. 1, e-mail: leorasha@mail.ru.

ГЕТМАНЕЦ Ирина Анатольевна – доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедры общей экологии, ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», 454001, Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129, e-mail: igetmanec@mail.ru.

ВИКТОРОВ Владимир Павлович – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедры ботаники, ФГБОУ ВО «Московский государственный педагогический университет», 119991, Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1, стр. 1, e-mail: vpviktorov@mail.ru

Левченко П.В. Результаты биотестирования эдафотопов некоторых видов широколиственных пород в Ашинском государственном природном биологическом заказнике (Челябинская область) / П.В. Левченко, И.А. Гетманец, В.П. Викторов // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. 2020. № 2(58). С. 84-93.

УДК 581.9 (470.331)