

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2021-11-3-285-296

**П.В. Левченко<sup>1</sup>, И.А. Гетманец<sup>1</sup>, В.П. Викторов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Челябинский государственный университет,  
454006 г. Челябинск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Московский педагогический государственный университет,  
119435 г. Москва, Российская Федерация

## Комплексный подход к оценке аллелопатической активности *Quercus robur* L.

Представлен комплексный подход, позволяющий регистрировать аллелопатические проявления *Quercus robur* на разных уровнях морфологической организации тест-объектов. Обсуждены результаты исследования биопроб аллелохимикатов *Q. robur* методом регистрации замедленной флуоресценции хлорофилла *Chlorella vulgaris* Beijer; методом биологических проб А.М. Гродзинского с кресс-салатом в качестве тест-объекта, а также результаты анализа гетерогенности растительного покрова местообитаний *Quercus robur* с позиции выделения эколого-ценотических групп. Выявлены закономерности усиления аллелопатического эффекта с увеличением концентрации растворов, а также больший ингибирующий эффект биопроб на тест-объекты, взятых из естественных сообществ *Q. robur*, по сравнению с аналогичными пробами из искусственных посадок г. Челябинска.

**Ключевые слова:** аллелопатия, эколого-ценотические группы, флуоресценция хлорофилла, аллелопатическая активность *Quercus robur* L.



ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Левченко П.В., Гетманец И.А., Викторов В.П. Комплексный подход к оценке аллелопатической активности *Quercus robur* L. // Социально-экологические технологии. 2021. Т. 11. № 3. С. 285–296. DOI: 10.31862/2500-2961-2021-11-3-285-296

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2021-11-3-285-296

**P.V. Levchenko<sup>1</sup>, I.A. Getmanets<sup>1</sup>, V.P. Viktorov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Chelyabinsk State University,  
Chelyabinsk, 454006, Russian Federation

<sup>2</sup> Moscow Pedagogical State University,  
Moscow, 129164, Russian Federation

## An integrated approach to assessing the allelopathic activity of *Quercus robur* L.

An integrated approach is presented that allows registering allelopathic manifestations of *Quercus robur* at different levels of the morphological organization of test objects. The results of the study of biological samples of allelochemicals *Q. robur* by the method of recording the delayed fluorescence of chlorophyll *Chlorella vulgaris* Beijer are discussed; by the method of biological samples A.M. Grodzinsky with watercress as a test object, as well as the results of an analysis of the heterogeneity of the vegetation cover of *Quercus robur* habitats from the standpoint of identifying ecological-cenotic groups. Regularities of the enhancement of the allelopathic effect with an increase in the concentration of solutions, a greater inhibitory effect of bioassays on test objects taken from natural communities of *Quercus robur* in comparison with similar samples from artificial plantings in Chelyabinsk were revealed.

**Key words:** allelopathy, ecological-cenotic groups, chlorophyll fluorescence, allelopathic activity of *Quercus robur* L.

CITATION: Levchenko P.V., Getmanets I.A., Viktorov V.P. An integrated approach to assessing the allelopathic activity of *Quercus robur* L. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2021. Vol. 11. No. 3. Pp. 285–296. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2021-11-3-285-296

## Введение

При выявлении предполагаемых аллелопатических взаимодействий, как считают многие исследователи, необходимо учитывать действие и других экологических факторов, что обуславливает методологические трудности, заключающиеся в сопоставлении результатов биопроб для тестирования в полевых условиях; при проведении исследований на ценопопуляционном уровне, а также в отсутствии учета биологически активных соединений видов, действующих опосредованно [Wardle, 1998; Inderjit, Keating, 1999].

Обобщая имеющиеся наработки в области этого природного феномена, можно отметить существующие проблемы, обусловленными как полевыми, так и лабораторными исследованиями: использование некорректной методологии в отношении химической экстракции и последующей интерпретации полученных результатов; отсутствие четких доказательств аллелопатии в полевых условиях из-за проявления синергизма факторов [Баранецкий, 1990; Williamson, 1990; Миркин, 1991; Гринюк, 1992; Weidenhamer, 1996; Blum et al., 1999, 2013].

Российские и зарубежные ученые отмечают несколько важных принципов при исследовании аллелопатии:

- 1) природа каждого взаимодействия должна быть изучена досконально для выяснения возможных механизмов влияния;
- 2) биологические анализы целесообразно проводить с видами, встречающимися в естественных условиях;
- 3) необходимо учитывать роль факторов среды при разработке соответствующих биотестов;
- 4) биотесты должны отражать природные условия с реалистичными концентрациями токсинов, приближенных к вырабатываемым в природной среде [Матвеев, 1990; Narwal, 1996; Лебедев, 2015; Черняева, Виктор, Куранова, 2018].

Исходя из вышеприведенного, целесообразно подойти комплексно к оценке аллелопатической активности растений, что предпринято в данном исследовании и определяет его цель.

Избранный подход предполагает использование различных методов, позволяющих регистрировать аллелопатические проявления от клеточного до ценопопуляционного уровня морфологической организации тест-объектов, что и определяет своевременность и практическую значимость методологии исследования.

## Методы исследования

Для отбора проб были заложены пробные площади в естественных сообществах *Quercus robur* L. Ашинского заказника и в искусственных насаждениях г. Челябинска. Выделены эколого-ценотические группы, отражающие отношение к совокупности экологических факторов, присущих биотопам того или иного типа, характеризующиеся высокой степенью взаимной сопряженности и включающие, как правило, виды с сильным фитогенным полем. Последний и будет определять состав экологической свиты. Биопробы листового опада отобрали в пяти точках на каждой из площадок и хранили в пергаменте.

Для приготовления водных вытяжек биопробы очищались от инородных примесей и просушивались на пергаменте в стандартных условиях. Затем заливались дистиллированной водой в массовом соотношении 1/10 и настаивали 1 сутки в темной стерильной камере.

Для изучения аллелопатической активности на организменном уровне была использована общепринятая методика биологических проб А.М. Гродзинского. Изучалось влияние экстрактов листового опада, прикорневого слоя почвы и листьев четырех концентраций (1/100, 1/50, 1/25 и 1/10) на ростовые реакции тест-культуры кресс-салат (*Lepidium sativum* L.). На дно чашки Петри диаметром 90 мм укладывали фильтровальную бумагу и равномерно раскладывали по десять семян кресс-салата. В каждую из чашек вносили по 10 мл вытяжки соответствующей концентрации. Опыт проводили в одной биологической и трех аналитических повторностях. В контрольных повторностях в чашки Петри приливали по 10 мл дистиллированной воды. Все чашки Петри выдерживали 120 часов при комнатной температуре и естественном освещении. Ежедневно отмечали всхожесть и длину корней. Проросшими считали семена с длиной корешка более 1 мм.

В качестве тест-объекта для опыта на клеточном уровне организации использована чистая культура *Chlorella vulgaris* в экспоненциальной стадии роста (через одни сутки после посева в культиватор KB-05). Методика лабораторного эксперимента основана на регистрации различий величины относительного показателя замедленной флуоресценции тест-культуры. Анализу подвергались значения относительного показателя замедленной флуоресценции после часовой экспозиции хлореллы

в среде, не содержащей токсических веществ (контроль), и в тестируемых пробах.

Измерение параметров замедленной флуоресценции проведено с помощью флуориметра Фотон 10. Критерием токсичности, в соответствии с методикой, является уменьшение величины относительного показателя замедленной флуоресценции на 25% и более, или увеличение на 25% и более, после экспонирования суспензии водоросли в водных вытяжках из листового опада по сравнению с этим показателем в контрольной среде, приготовленной на дистиллированной воде (Методика определения токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли хлореллы (*Chlorella vulgaris* Beijer): ПНД Ф от 01 января 2004 г. № 16.1:2.3:3.7-04).

## Результаты исследования

Для выявления аллелопатического воздействия на клеточном уровне организации тест-объекта использован метод регистрации замедленной флуоресценции хлореллы, позволивший выявить воздействие растворенных в воде веществ на фотосинтетический аппарат водоросли. В соответствии с методикой исследовались вытяжки листового опада *Quercus robur* объемом 48 см<sup>3</sup> в пяти вариантах разбавления:

- 1) исходная проба – без разбавления;
- 2) проба, разбавленная в 3 раза;
- 3) проба, разбавленная в 9 раз;
- 4) проба, разбавленная в 27 раз;
- 5) проба, разбавленная в 81 раз.

В качестве контроля, в соответствии с методикой, исследованию подвергалась культура в дистиллированной воде.

Результаты измерений представлены в табл. 1.

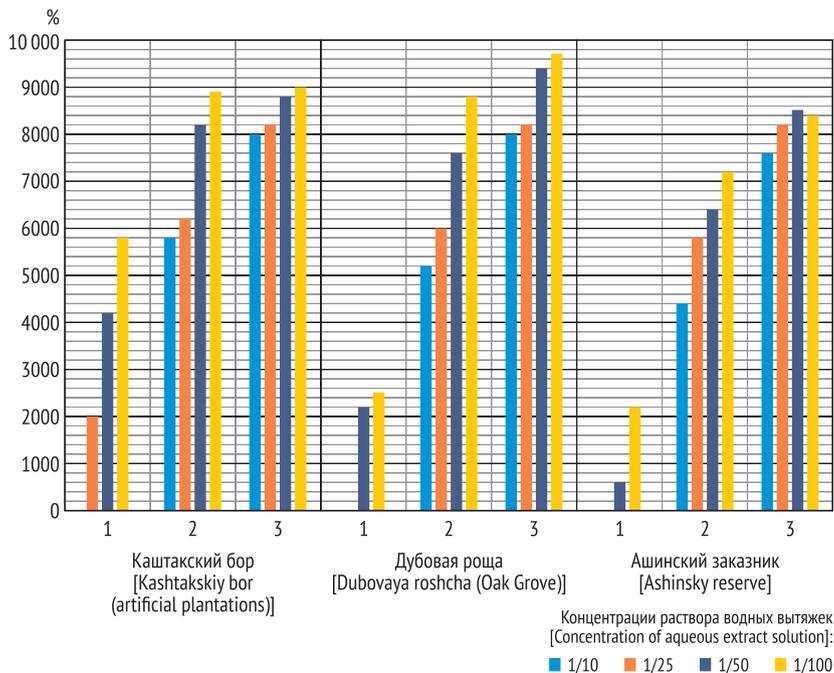
Наименьший относительный показатель замедленной флуоресценции отмечен в растворе листового опада Ашинского заказника без разбавления: отклонение от контроля составило 81%, что говорит о высоком токсическом эффекте воздействия вытяжек опада на фотосинтетический аппарат хлореллы. В целом, полученные значения относительного показателя замедленной флуоресценции для растворов биопроб, взятых из естественных сообществ дуба, ниже, чем для растворов с биопробами искусственных посадок. Отмеченная разница увеличивается с концентрацией раствора, что может говорить, на наш взгляд, о значительной доле водорастворимых веществ в аллелопатическом режиме *Q. robur*.

Таблица 1

**Результаты регистрации относительного показателя замедленной флуоресценции *Chlorella vulgaris***  
**[Results of registration of the relative index of delayed fluorescence of *Chlorella vulgaris*]**

Проба [Sample]	Водные вытяжки листового опада <i>Quercus robur</i> [Aqueous extracts of <i>Quercus robur</i> leaf drop]			
	Ашинский заказник [From the Ashinsky reserve]		Искусственные насаждения г. Челябинска [Of artificial plantations in Chelyabinsk]	
	Среднее значение относительного показателя замедленной флуоресценции [Average value of the relative index of delayed fluorescence]	Отклонение от контроля $z_1$ , % [Deviation from control, %]	Среднее значение относительного показателя замедленной флуоресценции [Average value of the relative index of delayed fluorescence]	Отклонение от контроля $z_2$ , % [Deviation from control, %]
Контроль [Control]	<b>70,0</b>	<b>0,00</b>	<b>70,0</b>	<b>0,00</b>
Разбавление в 81 раз [81 times dilution]	70,0	0,00	70,0	0,00
Разбавление в 27 раз [27 times dilution]	58,7	16,15	60,0	14,29
Разбавление в 9 раз [9 times dilution]	54,7	21,86	58,6	16,29
Разбавление в 3 раза [3 times dilution]	41,3	41,00	54,0	22,86
<i>Quercus robur</i> исходная [ <i>Quercus robur</i> original]	<b>13,3</b>	<b>81,00</b>	<b>20,7</b>	70,43

Для выявления аллелопатического воздействия на организменном уровне изучалось влияние водных вытяжек листьев, листового опада и почвы *Quercus robur* на всхожесть семян *Lepidium sativum* согласно классической методике (рис. 1).



**Рис. 1.** Всхожесть семян *Lepidium sativum* под влиянием водных вытяжек листьев (1), листового опада (2) и почвы (3) *Quercus robur*

**Fig. 1.** Seed germination of *Lepidium sativum* under the influence of aqueous extracts of leaves (1), leaf drop (2) and *Quercus robur* soil (3)

Анализ результатов показал, что экстракты изученных концентраций вытяжек листьев, листового опада и почвы *Quercus robur* из различных местообитаний оказывают ингибирующее воздействие на прорастание семян кресс-салата. Максимальное воздействие, заключающееся в отсутствии всходов, мы отмечаем в вариантах опыта с концентрацией 1/10 водных вытяжек из листьев *Quercus robur* всех трех локаций. Минимальный эффект воздействия проявляется у растворов почвы с разбавлением 1/100, взятой в коренных насаждениях в пределах памятника природы «Дубовая роща».

Таким образом, увеличение ингибирующего эффекта наиболее ярко проявляется с ростом концентрации вытяжек листьев, подобная тенденция отмечена и для листового опада. Выявленная оценка воздействия на культуру вида-акцептора на организменном уровне показала специфику влияния разных концентраций выделений донора из коренных и производных местообитаний и возможность использования *Lepidium sativum* в качестве индивидуального и универсального тестера.

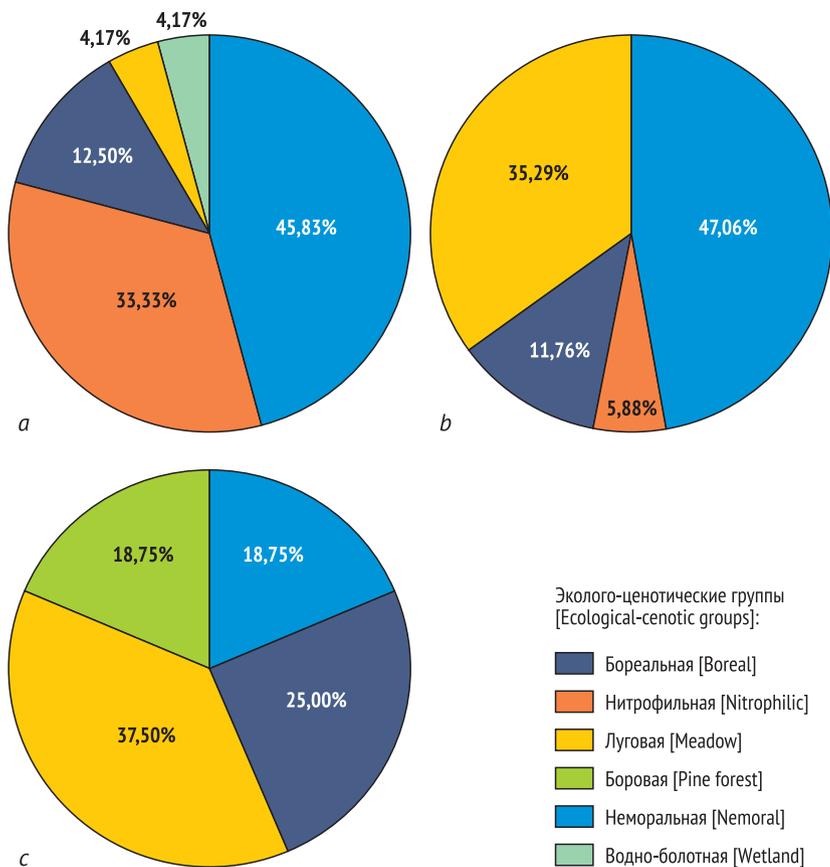
Наряду с применением биотестов и лабораторных исследований объективную информацию о баллелопатических взаимодействиях предполагает анализ сложения растительного покрова, который направлен на учет растений, приуроченных к виду-донору, с сильным фитогенным полем, или часто встречающихся с ним [Гродзинский, 1991]. Доминант-донор, как правило, предопределяет экологическую свиту, что свидетельствует, на наш взгляд, о нормальной жизненности особой ценопопуляции [Ниценко, 1969; Смирнова, 2004]. При ослаблении особой донора отмечается изменение состава свиты и, как следствие, внедрение реактивных видов. Такая закономерность была выявлена при изучении структуры и состава растительного покрова сообществ дуба черешчатого в естественных дубравах и в искусственных посадках в пределах городских экосистем.

Иллюстрацией этой закономерности служат составленные спектры эколого-ценотических групп, в котором доминирующее положение в дубравах занимает неморальная группа – 46% (рис. 2). Тогда как в искусственных посадках доля видов этой группы уменьшается до 19% и увеличивается доля видов бореальной, боровой и луговой групп. Поэтому ослабление силы аллелопатического воздействия, возможно, детерминирует гетерогенность растительного покрова за счет внедрения видов, не относящихся к неморальной свите.

## Выводы

Растворы аллелохимикатов дуба демонстрируют ингибирующий эффект на тест-объекты. С уменьшением концентрации водных вытяжек биопроб *Quercus robur* уменьшается и их угнетающее действие.

Биопробы, взятые из естественных сообществ, показали больший ингибирующий эффект на тест-объекты, что может быть связано с различным жизненным состоянием особой насаждений разного генезиса.



**Рис. 2.** Спектры эколого-ценотических групп видов растений местообитаний *Quercus robur*:

*a* – Ашинский заказник (естественное сообщество); *b* – памятник природы Дубовая роща (естественное сообщество); *c* – посадки дуба в г. Челябинске (искусственное сообщество)

**Fig. 2.** Spectra of ecological-cenotic groups of plant species in habitats of *Quercus robur*:

*a* – Ashinsky reserve (natural community); *b* – natural monument Oak grove (natural community); *c* – oak planting in Chelyabinsk (artificial community)

Наши исследования показали целесообразность использования комплексного подхода, обеспечивающего достоверность исследований и объективное отражение проявления аллелопатического эффекта

на разной уровнях морфологической организации тест-объектов, сочетание лабораторных и полевых исследований и максимально возможное количество биотестов. Последние можно рассматривать как дифференцирующий фон при изучении аллелопатической активности. Взаимоотношения доноров и тестеров могут показать степень изменчивости, активности и стабильности аллелопатической активности донорных объектов.

## Библиографический список / References

Баранецкий Г.Г. Химическое взаимодействие древесных растений. Львов, 1990. [Baranekij G.G. Himicheskoe vzaimodejstvie drevesnyh rastenij [Chemical interaction of woody plants]. Lviv, 1990.]

Гринюк Ю.Г. Аллелопатические взаимоотношения дуба обыкновенного с сопутствующими древесными породами: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Львов, 1992. [Grinyuk Yu.G. Allelopaticheskie vzaimootnosheniya duba obyknovennogo s soputstvuyushchimi drevesnymi porodami [Allelopathic relationships of common oak (*Quercus robur*) with accompanying tree species]. PhD Theses. Lviv, 1992.]

Гродзинский А.М. Аллелопатия растений и почвоутомление: Избр. тр. Киев, 1991. [Grodzinsky A.M. Allelopatiya rasteniy i pochvoutomlenie [Allelopathy of plants and soil fatigue]. Kiev, 1991.]

Лебедев В.М., Лебедев Е.В. Вопросы аллелопатии в лесных фитоценозах – состояние и перспективы // Агрохимия. 2015. № 4. С. 85–91. [Lebedev V.M., Lebedev E.V. Questions of allelopathy in forest phytocenoses – state and prospects. *Agrokimiya*. 2015. No. 4. Pp. 85–91. (In Rus.)]

Матвеев Н.М. Аллелопатический режим и интенсивность биологического круговорота веществ в лесных биоценозах степной зоны // Вопросы лесной биогеоценологии, экологии и охраны природы в степной зоне: Межвуз. сб. ст. Куйбышев, 1990. С. 61–75. [Matveev N.M. Allelopathic regime and the intensity of the biological cycle of substances in forest biocenoses of the steppe zone. *Voprosy lesnoj biogeocnologii, ekologii i ohrany prirody v stepnoj zone*. Kuibyshev, 1990. Pp. 61–75. (In Rus.)]

Миркин Б.М., Усманов И.Ю. Аллелопатия. Состояние теории, методы изучения // Журнал общей биологии. 1991. Т. 52. № 5. С. 646–655. [Mirkin B.M., Usmanov I.Yu. Allelopaty: Status of the theory and methods of studying. *Zhurnal Obshchei Biologii*. 1991. Vol. 52. No. 5. Pp. 646–655. (In Rus.)]

Ниценко А.А. Об изучении экологической структуры растительного покрова // Ботанический журнал. 1969. Т. 54. № 7. С. 1002–1014. [Nicencko A.A. On the study of the ecological structure of the vegetation cover. *Botanicheskii Zhurnal*. 1969. Vol. 54. No. 7. Pp. 1002–1014. (In Rus.)]

Симагина Н.О. Аллелопатический потенциал древесных растений // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Сер. Биология, химия. 2013. Т. 26 (65). № 1. С. 186–193. [Simagina N.O.

Allelopathic potential of woody plants. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*. 2013. Vol. 26 (65). No. 1. Pp. 186–193. (In Rus.)]

Смирнова О.В., Ханина Л.Г., Смирнов В.Э. Эколого-ценотические группы в растительном покрове лесного пояса Восточной Европы // Восточно-европейские леса: история в голоцене и современность / Под ред. О.В. Смирновой. Кн. 1. М., 2004. С. 165–175. [Smirnova O.V., Hanina L.G., Smirnov V.E. Ecological-cenotic groups in the vegetation cover of the forest belt of Eastern Europe. *Vostochnoevropejskie lesa: istoriya v golocene i sovremennost*. O.V. Smirnova (ed.). Vol. 1. Moscow, 2004. Pp. 165–175. (In Rus.)]

Черняева Е.В., Викторов В.П., Куранова Н.Г. Теория фитогенного поля как основа формирования устойчивых растительных группировок // Ботаника в современном мире: Труды XIV Съезда Русского ботанического общества и конференции «Ботаника в современном мире» (г. Махачкала, 18–23 июня 2018 г.). Т. 2: Геоботаника. Ботаническое ресурсоведение. Интродукция растений. Культурные растения. Махачкала, 2018. С. 347–349. [Chernyaeva E.V., Viktorov V.P., Kuranova N.G. Phytogenic field theory as the basis for the formation of resistant plant groups. *Botanika v sovremennom mire*. Vol. 2: Geobotany. Botanical resource science. Plant introduction. Cultivated plants. Makhachkala, 2018. Pp. 347–349. (In Rus.)]

Blum U. Plant-plant allelopathic interactions II: Laboratory bioassays for water-soluble compounds with an emphasis on phenolic acids. Springer, 2014. DOI: 10.1007/978-3-319-04732-4.

Inderjit, Weston L.A., O’Duke S. Challenges, achievements and opportunities in allelopathy research. *Journal of Plant Interactions*. 2005. Vol. 1. Issue 2. Pp. 69–81. DOI: 10.1080/17429140600622535.

Narwal S.S. Suggested methodology for allelopathy laboratory bioassays. *Allelopathy: Field Observations and Methodology*. S.S. Narwal, P. Tauro (eds.). Jodhpur, 1996. Pp. 255–266.

Wardle D.A., Nilsson M.C., Gallet V., Zackrisson O. An ecosystem-level perspective of allelopathy. *Biol Rev*. 1998. No. 73. Pp. 305–319.

Статья поступила в редакцию 04.05.2021, принята к публикации 16.07.2021  
The article was received on 04.05.2021, accepted for publication 16.07.2021

## Сведения об авторе / About the authors

**Левченко Павел Владимирович** – заведующий учебной лабораторией ботаники, Челябинский государственный университет

**Pavel V. Levchenko** – Head at the Educational Laboratory of Botany, Chelyabinsk State University, Russian Federation

E-mail: leopacha@mail.ru

**Гетманец Ирина Анатольевна** – доктор биологических наук, доцент; заведующая кафедрой общей экологии факультета экологии, Челябинский государственный университет

**Irina A. Getmanets** – Dr. Biol. Hab.; Head at the Department of General Ecology of the Faculty of Ecology, Chelyabinsk State University, Russian Federation

E-mail: igetmanec@mail.ru

**Викторов Владимир Павлович** – доктор биологических наук, профессор; заведующий кафедрой ботаники Института биологии и химии, Московский государственный педагогический университет

**Vladimir P. Viktorov** – Dr. Biol. Hab.; Head of the Department of Botany of the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University, Russian Federation

E-mail: vpviktorov@mail.ru

Заявленный вклад авторов

**П.В. Левченко** – сбор полевого материала, проведение экспериментов, написание текста статьи

**И.А. Гетманец** – интерпретация результатов, написание текста статьи

**В.П. Викторов** – анализ полученных данных, написание текста статьи

Contribution of the authors

**P.V. Levchenko** – participation in field work, conducting experiments, writing the text of the article

**I.A. Getmanets** – interpretation of results, soil science, writing the text of the article

**V.P. Viktorov** – data analysis, writing the text of the article

All authors have read and approved the final manuscript

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи