

УДК 630\*231.1:574.42

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОПАДА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ ПОРОДНОГО ОТВАЛА

Колмогорова Е.Ю., Уфимцев В.И.

*Институт экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН, Кемерово, e-mail: kolmogorova\_elen@bk.ru*

Химический состав растительного опада оказывает непосредственное воздействие на аллелопатический режим ценопопуляций. Растительные сообщества, произрастающие на отвалах Кузбасса, находятся на начальной стадии своего формирования, направленность которого зависит от видов-эдификаторов. В насаждениях сосны обыкновенной на отвалах распределение опада характеризуется выраженной мозаичностью, в соответствии с зонированием пространства на подкроновые, прикромовые и внешние зоны фитогенных полей деревьев. С целью определения признаков зонирования на вещественном уровне проведены исследования химического состава опада, взятого в разных зонах влияния деревьев при различной сомкнутости крон на отвалах Кедровского угольного разреза. Определено, что среднее содержание общего фосфора в опаде достигает максимума в подкромовых и прикромовых зонах сомкнутых насаждений – до 0,6–0,86%. Содержание азота равномерно возрастает в течение вегетационного периода – от 0,2% до 2,18% – во всех градациях сомкнутости. Накопление дубильных веществ наиболее интенсивно протекает во внешних зонах редины – 0,85–0,88%, что свидетельствует о слабом влиянии сосны обыкновенной на содержание этой группы веществ в опаде. Фенольные соединения обладают высокой аллелопатической активностью и подавляют всхожесть семян. Биотестирование показало, что горчица хуже всего возшла во внешней зоне редины – 14,67%. Максимальная всхожесть отмечена в подкромовой зоне высокосомкнутых насаждений – 33,67%. Длина проростка меньше всего также во внешней зоне редины. Это свидетельствует о заметном влиянии разнотравно-злаковой растительности на аллелопатические свойства опада редины сосны обыкновенной, произрастающей в условиях породного отвала.

**Ключевые слова:** отвалы, *Pinus sylvestris* L, опад, аллелопатия, фитогенное поле

## SOME PECULIARITIES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SCOTCH PINE DEBRIS, GROWING UNDER CONDITIONS OF COAL PIT

Kolmogorova E. Yu., Ufimtsev V. I.

*Institute of Human Ecology FRC CCC SB RAS, Kemerovo, e-mail: kolmogorova\_elen@bk.ru*

The chemical composition of a vegetable debris makes direct impact on the allelopathic mode of cenopopulation. The vegetable communities growing on dumps of Kuzbass are at an initial stage of the formation which orientation depends on edifier species. In plantations of Scots pine on dumps, the distribution of debris is characterized by pronounced mosaicity, in accordance with the zoning of space on the subcrown, near-front and outer zones of the phytogenic fields of trees. In order to determine the signs of zoning at the material level, studies were conducted on the chemical composition of debris taken in different zones of tree influence at different crown density on the dumps of the Kedrovsky coal mine. It is defined that in debris the average content of the general phosphorus reaches a maximum in internal and transitional zones of close plantings – to 0.6–0.86%. Content of nitrogen evenly increases during the vegetative period – from 0.2% up to 2.18% in all gradation of density. Accumulation of tannins most intensively proceeds in external zones of light forests – 0.85–0.88%, that demonstrates weak influence of a pine forestry on keeping of this group of substances in debris. Phenolic compounds have a high allelopathic activity. Biotesting showed that mustard was worst of all in the outer zone of the forest – 14.67%. The maximum germination rate was noted in the subcrown zone of highly closed stands – 33.67%. The length of the seedling is also the smallest in the outer zone of light forests.

**Keywords:** dumps, *Pinus sylvestris* L, debris, allelopathy, phytogenous field

Древесные насаждения, произрастающие на отвалах Кузбасса, характеризуются большим спектром таксационных характеристик и различаются по составу пород [1], что в значительной степени определяет выраженную мозаичность почвенно-растительного покрова. В связи с этим требуется дифференцированный подход при оценке аллелопатического влияния отдельных деревьев и древостоев в целом.

В лесных фитоценозах, благодаря опадению древесных растений, формируется мощная лесная подстилка, которая способствует поступлению в почву продуктов, продуци-

руемых растением, в том числе на основе извлекаемых из почвы соединений. Основу этих продуктов составляют органические (углеводы, лигнин, дубильные вещества, смолы и др.) и минеральные соединения, которые обладают высокой гетерогенностью и значительной вариабельностью в зависимости от состава древесных пород, таксационных характеристик, а также условий произрастания [2, 3].

В течение вегетационного периода формирование продукции у растений может варьировать в широком диапазоне, среди основных элементов питания наиболее ста-

бильно накопление азота, калий обладает наибольшей концентрацией в начале лета, а доля кальция, наоборот, возрастает к осени. Содержание остальных веществ, как правило, имеет тенденцию к сокращению в течение вегетации, вследствие снижения метаболической активности растительных организмов и сокращению выноса элементов питания из почвы.

Поскольку совокупность веществ, продуцируемых растением и попадаемых обратно в почву, оказывает аллелопатическое воздействие – как положительное, так и отрицательное – одним из направлений исследования механизмов трансформации лесных сообществ является изучение химизма аллелопатии, а именно – состава лесной подстилки в зависимости от экологических факторов в насаждении [4]. На отвалах угольной промышленности, резко отличающихся от свойств исходных экосистем, изучение химического состава подстилки является наиболее актуальным направлением исследований.

Цель исследования: изучение свойств опада сосны обыкновенной, произрастающей в условиях породного отвала.

На состав и скорость разложения опада в лесных сообществах влияет почвенная биота (бактерии, микомицеты, сапрофиты и др.) в совокупности с условиями среды (температурный и водный режимы, литологический и механический состав, инсоляция). Попадая на поверхность почвы, продукты жизнедеятельности деревьев претерпевают частичную минерализацию, сопровождающуюся гумификацией, выщелачиванием, окислением, элювиальными процессами.

Так, Н.М. Матвеев, И.И. Лыженко [5] показали, что в насаждениях клёна остролистного в биогеоценозах с различным типом увлажнения отличалось содержание в опаде свободных аминокислот и сахаров.

Существенным фактором разложения продуктов опада являются антропогенные факторы: рубка деревьев, пастьба сельскохозяйственных животных, вытаптывание, разжигание костров, привнесение фитоинвазий. К настоящему времени, несмотря на актуальность вопросов воздействия антропогенеза на трансформацию экосистем, публикации на тему антропогенного воздействия на структуру и динамику растительного опада встречаются достаточно редко. Однако результаты исследований позволяют предусмотреть последствия тех или иных воздействий хозяйственной деятельности человека.

Данная статья представляет начальные результаты изучения химического состава опада сосны обыкновенной в условиях породного отвала в Кемеровской области. Мы ограничились сравнением содержания ряда элементов, входящих в состав опада, не рассматривая влияния различных факторов, характерных для изучаемого местообитания.

#### Материалы и методы исследования

##### Характеристика объектов исследования

Объекты исследования – лесные насаждения, произрастающие на рекультивированных отвалах вскрышных пород Кедровского угольного разреза. Пробные площади заложены в молодняках сосны обыкновенной II класса возраста – от 28 до 35 лет. Техногенный элювий участков рекультивации состоит из разнородной массы песчаников на различной основе, агриллитов и конгломератов, с некоторой долей (до 5%) суглинков и глин. Пробные площади ранжировались по грациям сомкнутости лесного полога: редкостойные (редины) (20–30%), среднесомкнутые (50–60%) и высокосомкнутые (80–90%). На каждом участке по основным параметрам напочвенного покрова [6] устанавливались подкроновые, прикроновые (межкроновые) и внешние зоны.

Высокосомкнутые древостои мёртвопокровные, травянистые виды представлены единичными экземплярами. Хорошо выражены подкроновые и прикроновые участки, признаков внешних зон нет. В подкроновых зонах отмечается 7 видов, хорошо развита двухслойная (опадный и ферментативный слой) лесная подстилка из соснового опада мощностью 4 см. До 30% площади массива занимают прикроновые зоны, в которых мощность подстилки меньше – до 2 см – слой подстилки состоит также из опада сосны. Доля мохового проективного покрытия – не более 20%, травянистый ярус слабо развитый – до 10%, видовое обилие – 21 вид, из них доминируют *Agrostis gigantea* Roth., 5%, *Amoria repens* (L.) C. Presl., до 5%, *Elytrigia repens* (L.) Desv. Ex Nevski, около 1%. Величина живой надземной фитомассы незначительна –  $78 \pm 11,6$  г/м<sup>2</sup> воздушно-сухой массы – что определяет участие травянистых видов в генезисе эмбриозёмов как несущественное.

В среднесомкнутых насаждениях подкроновые и прикроновые зоны выделяются четко, как по абиотическим факторам, так и по характеру подстилки и состоянию травостоя, внешние зоны не развиты. Пре-

обладают подкروновые зоны – около 40% площади, подстилка средней мощностью 6 см состоит в основном из хвои сосны. Участие травянистых видов увеличивается до 3%, количество видов – 8. В прикroновых зонах моховое покрытие достигает 30%, а в подстилке отмечается сосновый опад мощностью до 1 см. Доминируют *Melilotus officinalis* L., свыше 10%, *Agrostis gigantea* – 5%, *Gypsophila perfoliata* – около 1%. Средняя величина живой надземной фитомассы –  $156 \pm 18$  г/м<sup>2</sup>.

Редины характеризуются чётким разграничением пространства на подкroновые, прикroновые и внешние зоны. Подкroновые достигают 30% всей площади, определяются по сплошной подстилке средней мощности 8 см и среднеразвитым травянистым ярусом с проективным покрытием до 25%. Здесь отмечается 12 травянистых видов, доминируют представители злаков – *Poa angustifolia* L. – 15% и выше, *Agrostis gigantea* – до 5%, а также равномерно размещен подрост *Pinus sylvestris*, составляющей до 10% площади яруса. Надземная фитомасса –  $370 \pm 45$  г/м<sup>2</sup>.

Отбор подстилки проводился 20 мая, 20 июля и 20 сентября – в начале, середине и в конце вегетации. Точки отбора проб располагали в соответствии с зонированием фитогенных полей, для чего под модельными деревьями закладывали учетные площадки размером 30×60 см с ориентацией поперек радиальной линии. Лабораторная подготовка образцов состояла в высушивании до воздушно-сухого состояния и взвешивании. Перед проведением исследований

из средних образцов выделяли аналитические пробы, материал которых подлежал измельчению до фракций размером 1 мм. Абсолютно сухая масса образцов определялась с помощью сушильного шкафа при температуре 105 °С в бюксах в течение 4 часов и взвешивании на лабораторных весах ВМ213М-II. Также в аналитических пробах методом мокрого озоления определяли общее содержание азота и фосфора [7]. По методу Левентала – Нейбауера в сухом растительном сырье определяли содержание дубильных веществ [8].

Содержание аллелопатических соединений в опаде определяли методом биопроб [9] на тест-культурах горчицы (*Sinapis alba* L.). За сутки перед проращиванием готовили вытяжки из аналитических проб опада каждой зоны на основе воды – 1:100. Для контроля вместо воды использовали талый снег. Помещали 100 семян горчицы в чашку Петри и проращивали в термостате при температуре + 28 °, делали по 3 повторности для каждой площадки. При проращивании 50% семян в контроле подсчитывали всхожесть. Так как горчица прорастает через трое суток, то длину проростка подсчитывали в эти сроки.

Математическая обработка данных проведена при помощи *Excel* и *Statistica 6.1*.

### Результаты исследования и их обсуждение

Изучение проб опада, сформированного деревьями сосны обыкновенной позволило получить ряд данных, которые представлены на рис. 1.

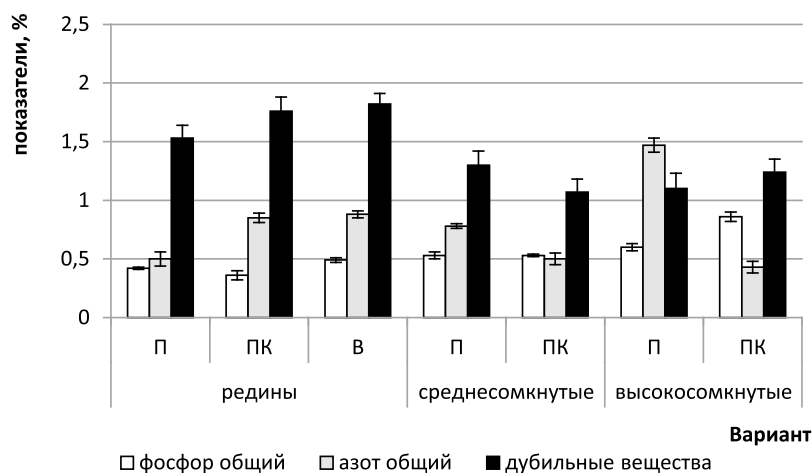


Рис. 1. Оценка некоторых показателей химического состава опада сосны обыкновенной, произрастающей в условиях отвала (средние данные май – сентябрь 2017 г.).  
Примечание: зоны фитогенных полей: П – подкroновые; ПК – прикroновые; В – внешние

Изучение содержания фосфора в опаде сосны обыкновенной показало различия в накоплении этого элемента с мая по сентябрь. Установлено, что в зоне редины наблюдается постепенное накопление фосфора с мая по сентябрь (от 0,28 до 0,63% соответственно). В опаде сосны, собранном в фитогенных зонах среднесомкнутых и высокосомкнутых насаждений, содержание фосфора в июле почти в 2 раза ниже, чем в мае и сентябре. Например, в прикромной зоне среднесомкнутых насаждений – 0,6; 0,33 и 0,65% в мае, июле и сентябре.

Средние данные за май – сентябрь 2017 г. показали, что максимальное содержание данного элемента в опаде отмечено под деревьями сосны обыкновенной в высокосомкнутых насаждениях подкромной и прикромной зон – 0,60 и 0,86% соответственно.

По литературным данным известно, что содержание азота в опаде древесных растений составляет от 0,6 до 2,04% от массы сухого вещества [10–12]. Проведенные исследования показали, что на всех площадках наблюдения азот накапливается в опаде равномерно с мая по сентябрь. В фитогенных зонах редины от 0,22 до 2,14%, среднесомкнутых насаждений – от 0,20 до 1,15%, высокосомкнутых – от 0,20 до 2,18% с мая по сентябрь соответственно.

Из литературных источников известно, что в олиготрофных условиях (при недостатке питания) растения вынуждены извлекать питательные вещества из почвы более интенсивно [13, 14]. В опаде содер-

жатся многие питательные вещества необходимые растениям и при деструкции опада они вновь усваиваются, что обеспечивает устойчивое функционирование насаждений сосны обыкновенной в условиях отвала.

Известно, что фенольные соединения обладают высокой аллелопатической активностью [15], поэтому интересно было сравнить накопление дубильных веществ в опаде сосны на изучаемых площадках.

Наши исследования показали, что содержание дубильных веществ в опаде на всех площадках наблюдения минимальное в мае (от 0,26 до 1,21%). В июле дубильные вещества накапливаются от 1,3 до 2,25%. В сентябре их содержание такое же, как и в июле, с минимумом 1,3% в прикромной зоне среднесомкнутых насаждений и максимумом 2,25% во внешней зоне редины.

Средние данные за май – сентябрь показали, что максимальное содержание дубильных веществ отмечено в опаде всех фитогенных зон редины – 0,50% в подкромной зоне, 0,85% в прикромной и 0,88% во внешней.

Биотестирование показало, что горчица хуже всего возшла во внешней зоне редины – 14,67%. Максимальная всхожесть отмечена в подкромной зоне высокосомкнутых насаждений – 33,67%. Длина проростка меньше всего также во внешней зоне редины (рис. 2).

Так как фенольные соединения обладают высокой аллелопатической активностью, подавляют всхожесть семян, мы сравнили содержание дубильных веществ в опаде изучаемых зон и всхожесть горчицы в водных

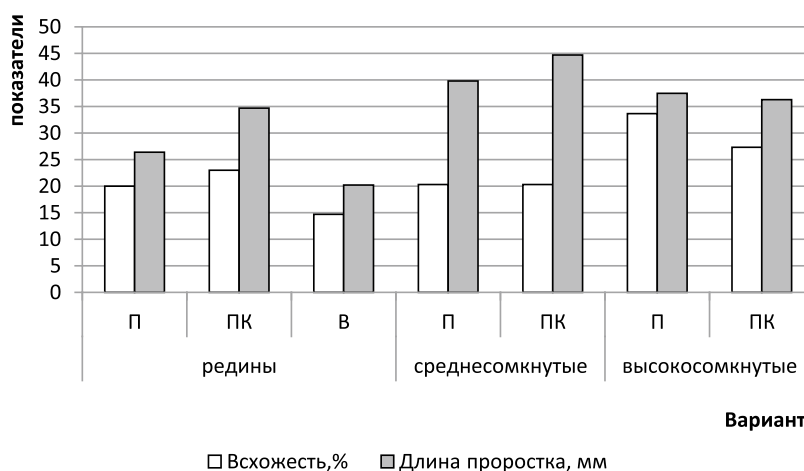


Рис. 2. Влияние аллелопатических веществ, содержащихся в опаде, на всхожесть (%) и длину проростков (см) горчицы. Примечание: зоны фитогенных полей: П – подкромные; ПК – прикромные; В – внешние

вытяжках, полученных из аналитических проб из тех же фитогенных зон. Сравнение показало, что чем выше содержание дубильных веществ в опаде, тем ниже всхожесть семян горчицы. Так, во внешней зоне редин отмечено максимальное содержание дубильных веществ – 1,82%, а всхожесть семян горчицы самая низкая – 14,67%. Та же тенденция соблюдается и в других вариантах (таблица).

Оценка влияния дубильных веществ на всхожесть семян горчицы в фитогенных полях сосны обыкновенной, произрастающей в условиях отвала

Фитогенные зоны	Дубильные вещества (средние данные за май – сентябрь 2018 г.), %	Всхожесть горчицы, %
Зона редин		
Подкروновая	1,53	20
Прикروновая	1,76	23
Внешняя	1,82	14,67
Зона среднесомкнутых насаждений		
Подкروновая	1,30	20,33
Прикروновая	1,07	20,33
Зона высокосомкнутых насаждений		
Подкروновая	1,10	33,67
Прикروновая	1,24	27,33

### Заключение

Таким образом, сосна обыкновенная в условиях породного отвала способствует накоплению общего фосфора, что проявляется в накоплении этого элемента в опаде прикроновых и подкроновых зон деревьев и возрастает при увеличении сомкнутости крон. Содержание общего азота зависит, в свою очередь, от сезонных колебаний этих веществ, вне зависимости от пространственной структуры сосновых насаждений. Дубильные вещества накапливаются во внешних зонах редин, чему способствует травянистая растительность, поскольку влияние деревьев в этих зонах существенно ослабевает.

В ходе исследований нами отмечено наибольшее подавление развития тест-культуры во внешней зоне редин, что свидетельствует о заметном влиянии разнотравно-злаковой растительности, составляющей большую часть опада в этой зоне, на аллелопатические свойства сосны обыкновенной, произрастающей в условиях породного отвала.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Оценка и охрана флористического разнообразия под влиянием антропогенных и техногенных факторов in situ и ex situ № 0352-2016-0002».

### Список литературы / References

1. Уфимцев В.И. Влияние экологических условий на состояние насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на отвалах Кузбасса. автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2011. 16 с.
2. Ufimtsev V.I. The influence of environmental conditions on the condition of pine plantation (*Pinus sylvestris* L.) on Kuzbass dumps. dis. ... cand. biol. nauk. Tomsk, 2011. 16 p. (in Russian).
3. Благодатский С.В. Микробная биомасса и моделирование цикла азота в почве: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Пушино, 2011. 50 с.
4. Blagodatsky S.V. Microbial biomass and nitrogen cycle simulation in soil: author. dis. ... Dr. biol. sciences. Pushchino, 2011. 50 p. (in Russian).
5. Ведрова Э.Ф., Решетникова Т.В. Масса подстилки и интенсивность ее разложения в 40-летних культурах основных лесообразующих видов Сибири // Лесоведение. 2014. № 1. С. 42–50.
6. Vedrova E.F., Reshetnikova T.V. The mass of litter and the intensity of its decomposition in 40-year-old cultures of the main forest-forming species of Siberia // Forest Science. 2014. № 1. P. 42–50 (in Russian).
7. Передериева В.М., Власова О.И., Шутко А.П. Аллелопатические свойства сорных растений и их растительных остатков в процессе минерализации // Научный журнал КубГАУ. 2011. № 73 (09). URL: <http://ej.kubagro.ru/2011/09/pdf/11.pdf> (дата обращения: 09.11.2018).
8. Pederieva V.M., Vlasova O.I., Shutko A.P. Allelopathic properties of weeds and their plant residues in the process of mineralization // Scientific journal KubGAU. 2011. № 73 (09). URL: <http://ej.kubagro.ru/2011/09/pdf/11.pdf> (date of access: 09.11.2018) (in Russian).
9. Матвеев Н.М., Лыженко И.И. К вопросу о специфичности растительных выделений в биотопах лесных биогеоценозов степной зоны // Вопросы лесной биогеоценологии, экологии и охраны природы в степной зоне. 1978. Вып. 3. С. 15–33.
10. Matveev N.M., Lyzhenko I.I. On the question of the specificity of plant excretions in biotopes of forest biogeocenoses of the steppe zone // Voprosy lesnoj biogeocenologii, e'kologii i ohrany prirody v stepnoj zone. 1978. V. 3. P. 16–33 (in Russian).
11. Уранов А.А. Фитогенное поле // Проблемы современной ботаники. 1965. Т. 1. С. 251–254.
12. Uranov A.A. Phytogenic field // Problems of modern botany. 1965. T. 1. P. 251–254.
13. Кидин В.В. Практикум по агрохимии: учебное пособие для вузов. М.: Колос, 2008. 599 с.
14. Kidin V.V. Workshop on agrochemistry. Textbook for universities. M.: Kolos, 2008. 599 p. (in Russian).
15. Коренская И.М., Ивановская Н.П., Измалкова И.Е. Лекарственные растения и лекарственное растительное сырье, содержащее антраценпроизводные, простые фенолы, лигнины, дубильные вещества: учебное пособие для вузов. Воронеж, 2007. С. 50–51.
16. Korenskaya I.M., Ivanovskaya N.P., Izmalkova I.E. Medicinal plants and medicinal plant raw materials containing anthracene derivatives, simple phenols, lignins, tannins. Textbook for universities. Voronezh, 2007. P. 50–51 (in Russian).
17. Гродзинский А.М. Парадигмы в аллелопатии // Методологические проблемы аллелопатии: сб. науч. тр. АН УССР. ЦРБС. Киев: Наукова думка, 1989. С. 3–14.
18. Grodzinsky A.M. Paradigms in allelopathy // Methodological problems of allelopathy: Sat. scientific tr. AN USSR. CRPS. Kiev: Naukova Dumka, 1989. P. 3–14 (in Russian).
19. Решетникова Т.В. Формирование органического вещества почвы в культурах основных лесообразующих пород

Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. ФГБУН Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, 2015. 16 с.

Reshetnikova T.V. Formation of soil organic matter in cultures of the main forest-forming rocks of Siberia: dis. ... cand. biol. nauk. FGBUN Institute of Forest. V.N. Sukachev SB RAS. Krasnoyarsk, 2015. 16 p. (in Russian).

11. Решетникова Т.В., Распопина Т.К. Лесная подстилка в насаждениях хвойных и лиственных пород Сибири // Материалы региональной очно-заочной экологической конференции «Экология. Рациональное природопользование». Красноярск, 2010. С. 97–99.

Reshetnikova T.V., Raspopina T.K. Forest litter in plantations of coniferous and deciduous species of Siberia // Materials of the regional part-time ecological conference «Ecology. Rational nature management. Krasnoyarsk, 2010. P. 97–99 (in Russian).

12. Решетникова Т.В. Лесные подстилки как депо биогенных элементов // Вестник КрасГАУ. 2011. № 12. С. 75–82.

Reshetnikova T.V. Forest litters as a depot of biogenic elements // Vestnik KrasGAU. 2011. № 12. P. 75–82 (in Russian).

13. Подоль С.Р., Попова З.И. Распределение и динамика химических элементов в сосновых биогеоценозах Мещерского полесья. // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2015. № 2. С. 87–92.

Podol S.R., Popova Z.I. Distribution and dynamics of chemical elements in pine ecosystems Meshchersky Woodland // Russian Medical Biological Bulletin named after academician I.P. Pavlova. 2015. № 2. P. 87–92 (in Russian).

14. Мухортова Л.В. Анализ трансформации лесной подстилки в 25-летних хвойных культурах // Лесоведение. 2008. № 5. С. 36–44.

Mukhortova L.V. Analysis of the transformation of forest litter in 25-year-old coniferous crops // Forest Science. 2008. № 5. P. 36–44 (in Russian).

15. Райс Э. Аллелопатия. М., 1978. 392 с.

Rice E. Allelopathy. M., 1978. 392 p. (in Russian).