

2. GOST 12.1.007-76. Harmful substances. Classification and General safety requirements. M.: Publishing house of standards, 1976.

3. Distribution of trees, experimental cultures of birch pendula Roth, the steps of the thickness and contamination level of the soil in the zone of emissions of Kombinat «Magnezit» / S. L. Menshikov, K. E. Zav'yalov, N. A. Kuzmina, P. A. Mokhnachev, Iv. S. Tcepordei // The success of modern science. 2016. No. 10. P. 84–89.

4. Barkan V. Leaching of Nickel and copper from soil contaminated by metallurgical dust // Okra. Int. 2002. V. 28, No. 1–2. P. 63–68.

---

УДК 631.531:582.475.4:504.062

### КАЧЕСТВО ПЫЛЬЦЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ВЫБРОСАМИ РЕФТИНСКОЙ ГРЭС

С. Г. МАХНЕВА – кандидат биологических наук,  
старший научный сотрудник,  
ФГБУ Ботанический сад УрО РАН,  
620000, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а,  
тел.: +7(922)615-51-10, e-mail: makhniovasg@mail.ru

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, репродукция, пыльца, аномалии пыльцевого зерна, техногенное загрязнение, ГРЭС.

Целью работы были изучение процесса микрогаметогенеза и диагностика качества пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в древостоях, подверженных воздействию дымовых выбросов Рефтинской ГРЭС. В зоне оседания аэрополлютантов Рефтинской ГРЭС в юго-восточном направлении сформированы зоны техногенного загрязнения, различающиеся по качественному составу загрязняющих веществ снегового покрова и их количественным параметрам. С удалением от источника аэрополлютантов закономерно снижается содержание в талой снеговой воде нерастворимых соединений, составляющих взвешенное вещество. Наибольшее содержание водорастворимых соединений установлено на удалении 5, 8 и 14 км от источника аэрополлютантов, достоверно ниже – на ближайших и наиболее удаленных точках отбора проб снега. Среднепопуляционные значения показателей фертильности пыльцы и содержания запасных веществ в зрелой пыльце сосны в градиенте техногенного загрязнения снижаются с удалением от источника аэрополлютантов в ряду ПП-1 > ПП-2 > ПП-3, а в фоновом древостое возрастают. Показатель прорастания пыльцы на питательной среде, напротив, возрастает в направлении ПП-1 < ПП-2 < ПП-3, затем снижается до значений ПП-1. Показатель длины пыльцевой трубки имеет максимальные значения для пыльцы ПП-2. Установлено, что основной вклад в стерильность пыльцы сосны вносят пыльцевые зерна с цитологическими нарушениями, за исключением ПП в фоновых условиях, где несколько выше доля мелких пыльцевых зерен. Максимум частоты пыльцы с цитологическими нарушениями выявлен для ПП на удалении 9 км от ГРЭС (выше в 2,9–16,3 раза, чем на других ПП). Таким образом, пул пыльцы сосны обыкновенной из зон техногенного загрязнения характеризуется высокой частотой цитоморфологических и функциональных нарушений. Участие такой пыльцы в репродукции может привести к снижению качества семян и жизнеспособности сеянцев. Выявлены показатели пыльцы сосны обыкновенной (частота мелких пыльцевых зерен, сумма пыльцевых зерен с морфологическими аномалиями, ветвление пыльцевой трубки), обладающие прогностической ценностью в отношении суммарной техногенной нагрузки на экосистемы.

---

## QUALITY POLLEN OF SCOTS PINE UNDER THE CONDITIONS OF TECHNOGENIC POLLUTION REFT POWER PLANT

S. G. MAKHNIOVA – Ph.D., Senior Researcher,  
Botanical garden UD RAS,  
Yekaterinburg, St. March 8, 202 a,  
phone: +7(922)615-51-10, e-mail: makhniovasg@mail.ru

**Keywords:** Scots pine, reproduction, pollen, pollen grain anomalies, technogenic pollution, power plant.

Aim of the work was to study the process microgametogenesis and pollen quality diagnosis of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) tree stands formed under exposed Reft power plant flue emissions. In the area of Reft power plant airpollutants subsidence formed technogenic pollution areas that differ in the qualitative composition of pollutants snow cover and their quantitative parameters. The regularity reduced content in thawed snow water insoluble compounds that make up the suspended matter with distance from the airpollutants source. The highest content of water-soluble compounds found at a distance of 5, 8, and 14 km from the airpollutants source, significantly lower – at the nearest and farthest points of the snow samples selection. Showed a reduction in pollen fertility values and the content of reserve substances in mature pollen of pine trees in a number of PP-1 > PP-2 > PP-3, and in the background the stand they grow. Pollen germination rate on the medium, on the contrary, increases in the direction of PP-1 < PP-2 < PP-3 and then falls below the PP-1. Indicator of the pollen tube length is the maximum value for the pollen PP-2. It was found the main contribution to the sterility of the pollen of pine pollen grains are made with cytological abnormalities, except for the PP in the background conditions, which is slightly higher proportion of small pollen grains. It was detected maximum frequency of pollen from cytological disturbances for PP-3 (2,9–16,3 times higher in comparison with other PP). Thus, pollen pool of Scots pine from technogenic pollution areas characterized by a high frequency cytomorphological and functional disorders. Therefore, the presence of *Pinus* pollen of the zones of technogenic pollution in reproduction may be a cause of reduced seed quality and viability of seed progeny. The identified parameters of the pollen of Scotch pine (the frequency of small pollen grains, the amount of pollen grains with morphological anomalies, ramification of pollen tube), which has prognostic value in terms of the level of technogenic load on ecosystems.

### Введение

Тепловые электростанции в России, обеспечивая основной спрос на электроэнергию в стране, вносят значительный вклад в загрязнение всех компонентов природной среды: воздушного бассейна, почв, вод. Так, в 2014 г. 21,6% объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от всех стационарных источников в Российской Федерации приходилось на предприятия по производству и распределению электроэнергии, газа и воды [1]. Рефтинская ГРЭС является самой крупной ГРЭС Рос-

сии, работающей на угле; основное ее топливо – экибастузский каменный уголь, который характеризуется высокой зольностью на сухую массу – 43,3%, а также высоким содержанием микроэлементов в летучей золе [2]. В настоящее время Рефтинская ГРЭС ежегодно выбрасывает на золоотвал более 4 млн т золы и шлака; годовой выброс в атмосферу составляет более 315,4 тыс. т загрязняющих веществ, в том числе 144,48 тыс. т летучей золы, 146,4 тыс. т SO<sub>2</sub> [2, 3].

Большую часть дымовых выбросов Рефтинской ГРЭС

принимают на себя окрестные леса. Согласно литературным данным, газообразные промышленные выбросы, вещества атмосферных аэрозолей могут действовать непосредственно на растения при поступлении их с дождями, способны накапливаться в корневой системе, хвое и листьях растений, вызывая их повреждение и усыхание [4–7], а также вызывать нарушения в мужской и женской генеративных системах [6, 8–10]. Пыльца многих видов растений является обязательным и одним из наиболее уязвимых компонентов

процесса репродукции, что объясняет актуальность оценки состояния мужской генеративной системы в условиях экологического стресса.

#### **Цель, методика и объекты исследования**

В литературе малочисленны сведения о влиянии атмосферного загрязнения ГРЭС с доминированием зольного компонента на репродукцию хвойных растений. Целью данной работы были изучение процесса микрогаметогенеза и диагностика качества пыльцы сосны обыкновенной (далее сосны) в древостоях, подверженных на протяжении онтогенеза воздействию эмиссий Рефтинской ГРЭС. Район исследования располагается в Нейво-Лозвинской предгорной лесорастительной провинции Западно-Сибирской лесной области [11]. Климат района умеренно континентальный; почвы в сосняках на дренированных лесных территориях горно-лесные оподзоленные. В окрестностях ГРЭС в составе древостоев преобладает сосна обыкновенная; возраст естественных древостоев составляет 90–130 лет; тип леса сосняк травяной [12].

Исследования мужской генеративной системы сосны обыкновенной проводили на пробных площадях (ПП), заложенных на удалении 2 км (ПП-1), 5 км (ПП-2), 9 км (ПП-3), 15 км (ПП-4) от источника техногенного загрязнения в наиболее загрязненном юго-восточном направлении [4]. Древостой на удалении 2 км (ПП-1) представляет собой

культуры сосны обыкновенной, заложенные в 1992 г. на золоотвале № 1 Рефтинской ГРЭС [13]. В настоящее время культуры сосны переходят в репродуктивную стадию, что позволило начать изучение состояния мужской генеративной системы, семян и семенного потомства растений. Другие ПП были заложены нами в естественных древостоях сосны 2-го класса возраста в сходных с ПП-1 лесорастительных условиях.

Уровень техногенного загрязнения ПП определяли по результатам изучения загрязнения снегового покрова. Отбор проб снега для химического анализа проводили на 6 учетных площадках, четыре из которых (1–4) находились на указанных выше ПП; учетная площадка 5 – на удалении 19 км в юго-восточном направлении от ГРЭС (ПП-5) в древостое III класса возраста; учетная площадка 6 – на удалении 1 км в восточном направлении (ПП-6) в древостое VI класса возраста. Талую снеговую воду (в дальнейшем снеговую воду) в лабораторных условиях фильтровали, определяли значение pH. В фильтрате снеговой воды и осадке на фильтре определяли соответственно массу сухого остатка и взвешенного вещества, содержание в их составе металлов (г/м<sup>2</sup>). Концентрацию металлов определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре nov AA 300 (Analytik Jena, Германия).

Изучение цитоморфологических и функциональных показателей пыльцы сосны проводили

на образцах зрелой пыльцы, собранной непосредственно перед пылением [14–15]. В пыльце цитохимически определяли содержание запасных веществ (крахмала и липидов) в баллах. Фертильность пыльцы (в %) определяли при окрашивании образца сухой зрелой пыльцы ацетокармином при нагревании. К стерильным были отнесены пыльцевые зерна с морфологическими аномалиями, пыльцевые зерна типичной морфологии с цитологическими нарушениями клеток мужского гаметофита, с измененным числом клеток (5–8), не имеющие запасных веществ, дегенерированные (с цитологическими и морфологическими нарушениями) и др. (рис. 1). Для определения функциональной полноценности зрелую пыльцу проращивали в климатической камере Sanyo MLR-351H в капле дистиллированной воды на предметных стеклах с лунками во влажной камере (чашка Петри) при температуре +27°C. На 3-й день опыта определяли показатели прорастания пыльцы (%), длины пыльцевой трубки (мкм), жизнеспособность пыльцевой трубки (в баллах): от 1 балла – низкая (погибли) до 4 – высокая (отсутствие морфологических и цитологических нарушений). Определяли степень ветвления пыльцевой трубки: 1 балл – нет ветвления (рис. 1, ж), 4 балла – максимальное ветвление (рис. 1, з). Микроскопию пыльцы проводили в трех-пятикратной повторности с помощью микроскопа AxioScore. Эмпирические данные обрабатывали с использованием

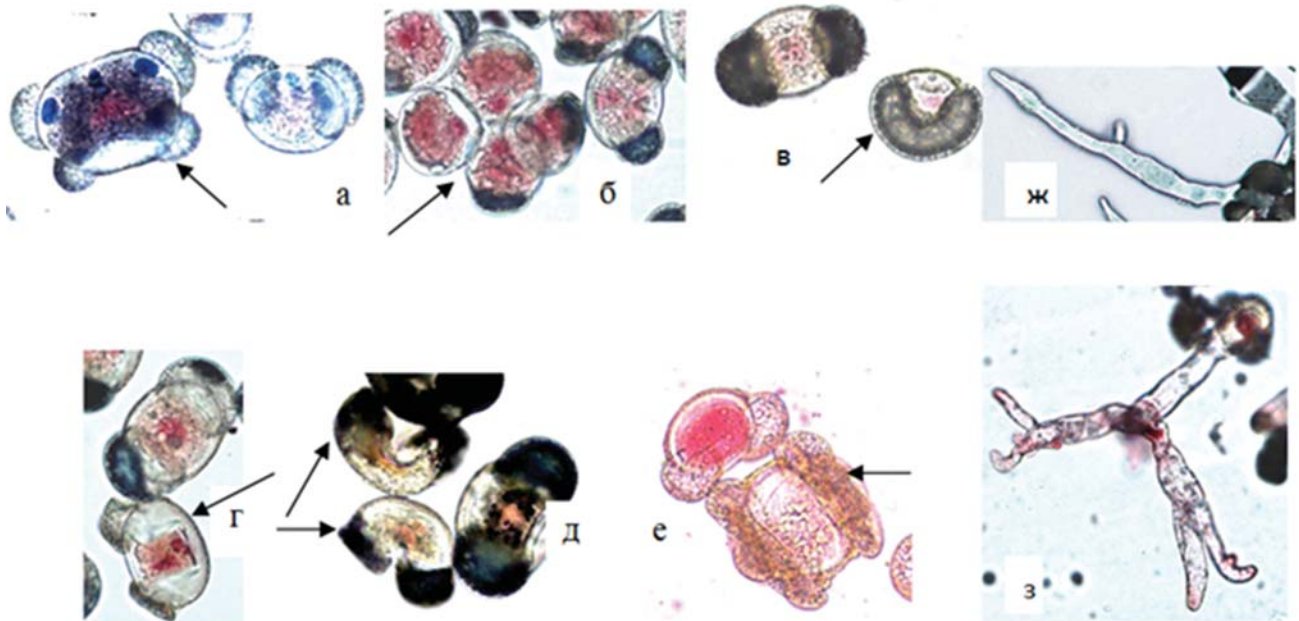


Рис. 1. Аномалии пыльцы сосны:

а – диада цитологически нормальная с липидными включениями, б – тетрада, в – один «воротничковый» воздушный мешок, г – ПЗ с цитологическими нарушениями и аномалиями воздушных мешков, д – два ПЗ с цитологическими нарушениями, аномалиями воздушных мешков, меньших размеров, не содержащие крахмала, е – диада с нарушениями строения воздушных мешков и цитологическими нарушениями, ж – нормально развивающаяся пыльцевая трубка, з – ветвящаяся пыльцевая трубка

методов дескриптивной статистики, корреляционного и кластерного анализов, непараметрического критерия Манна – Уитни (пакет программ Statistica 6 for Windows).

#### Результаты исследования и их обсуждение

Установлено, что содержание в снеговой воде взвешенного вещества закономерно снижается с удалением от источника аэрополлютантов и создает градиент техногенного загрязнения (рис. 2). Различия между ПП по данному показателю достоверно значимы ( $p < 0,05$ ). Содержание сухого остатка в фильтрате снеговой воде наибольшее на удалении 5, 9 и 14 км от источника аэрополлютантов, достоверно ниже (в 4,3–10,4 раза) ( $p < 0,05$ ) – на ближайших и

наиболее удаленных точках отбора проб снега (1–2 км, 19 км) (см. рис. 2). По сумме растворимых и нерастворимых веществ максимальный уровень содержания загрязняющих веществ в пробах снега отмечен на удалении 1 км от ГРЭС, минимальный – 14–19 км. Значение показателя рН снеговой воды на всех ПП варьирует в диапазоне 6,43–6,78; снижается с удалением от источника аэрополлютантов ( $r = -0,61$ ) (см. рис. 2). На основании результатов кластерного анализа по комплексу показателей, характеризующих уровень техногенного загрязнения ПП в юго-восточном направлении от Рефтинской ГРЭС, были выделены 3 кластера и соответствующие им зоны загрязнения: импактная (ПП-6 – ПП-1), буферная (ПП-2 – ПП-3), фоновая (ПП-4 – ПП-5).

На рис. 3–6 представлена динамика изменения показателей мужской генеративной системы сосны в градиенте техногенного загрязнения Рефтинской ГРЭС. Установлено, что среднепопуляционные значения показателей фертильности пыльцы и содержания запасных веществ в зрелой пыльце сосны в градиенте техногенного загрязнения изменяются сходным образом (см. рис. 3): снижаются с удалением от источника аэрополлютантов в ряду ПП-1 > ПП-2 > ПП-3, а в фоновом древостое возрастают. Показатель прорастания пыльцы на питательной среде изменяется иначе: с удалением от источника аэрополлютантов возрастает в направлении ПП-1 < ПП-2 < ПП-3, затем снижается до значений ПП-1. Различия между ПП-3 и другими

ПП по большинству указанных показателей достоверно значимы ( $p < 0,05$ ). Показатель длины пыльцевой трубки варьирует вне связи с расстоянием от источника аэрополлютантов (см. рис. 4), имеет максимальные значения для пылицы ПП-2 (различия с ПП-1 достоверны при  $p < 0,05$ ).

Установлено, что основной вклад в стерильность пыльцы сосны вносят пыльцевые зерна с цитологическими нарушениями; они составляют 45,01–78,29% от всей стерильной пыльцы, за исключением ПП в фоновых условиях, где несколько выше вклад в стерильность мелких пыльце-

вых зерен (40,64%) (см. рис. 5). Максимум частоты пыльцы с цитологическими нарушениями и дегенерированной установлен для ПП на удалении 9 км от ГРЭС и составляет 15,98%, что выше в 2,9–4,4 раза, чем на ПП на удалении 2 и 5 км от источника аэрополлютантов (см. рис. 6).

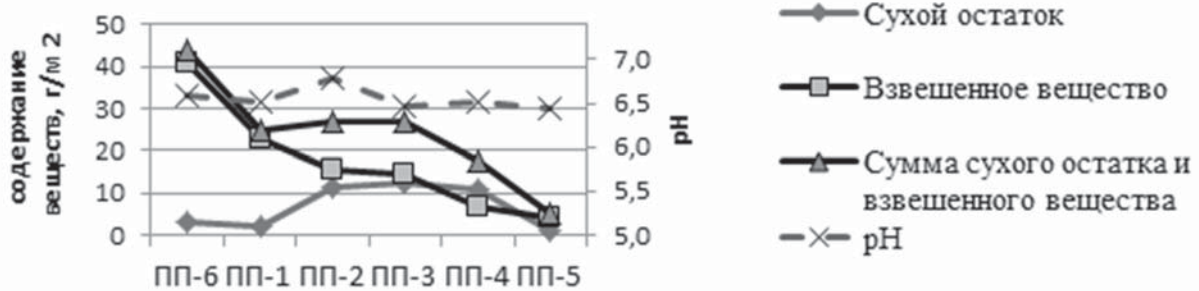


Рис. 2. Значения pH талой снеговой воды, содержание в ней сухого остатка и взвешенного вещества, г/м<sup>2</sup> (здесь и далее: для линий пунктиром шкала – по вспомогательной вертикальной оси)

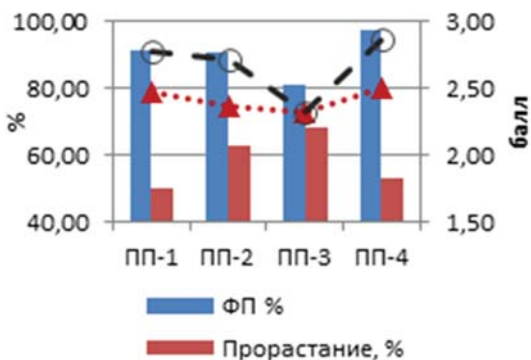


Рис. 3. Показатели фертильности пыльцы (ФП), прорастания и содержания запасных веществ в пыльце сосны

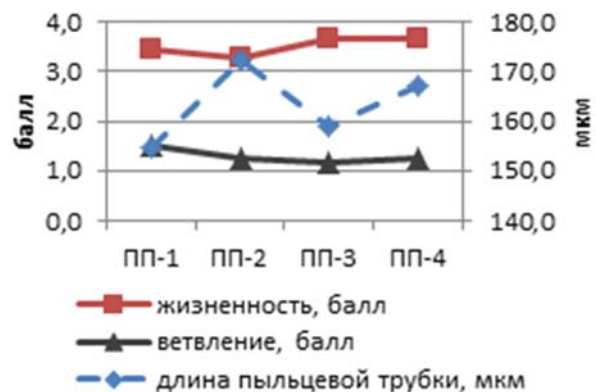


Рис. 4. Функциональные показатели пыльцы сосны

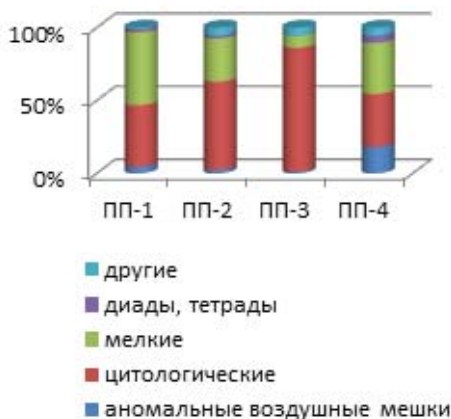


Рис. 5. Вклад аномалий пыльцы сосны в стерильность (% от стерильных)

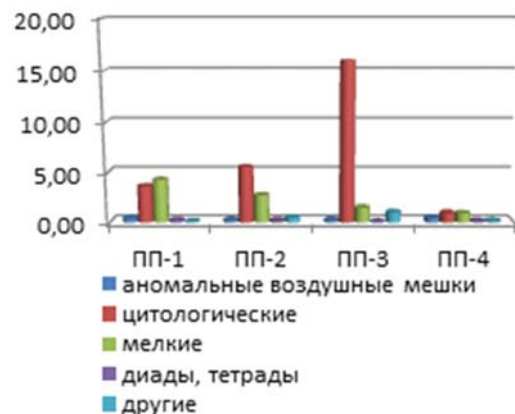


Рис. 6. Спектр аномалий пыльцы сосны (% от просмотренных ПЗ)

В фоновом древостое частота пыльцы с цитологическими нарушениями ниже в 3,7–16,3 раза, чем в зонах техногенного загрязнения (различия достоверны при  $p < 0,5$ ). С удалением от источника аэрополлютантов снижаются значения показателей частоты мелких пыльцевых зерен и суммы пыльцевых зерен с морфологическими аномалиями (различия между ПП импактной и фоновой зон загрязнения составляют соответственно 4,6 и 3,1 раза).

Рассмотренные выше показатели являются традиционными при изучении качества пыльцы хвойных. В дополнение к ним мы оценивали также показатель ветвления пыльцевых трубок. Опытным путем нами было установлено, что при проращивании пыльцы сосны *in vitro* на бедных средах (дистиллированная вода, агар-агар без сахарозы) среднестатистические нормально развивающиеся и растущие пыльцевые трубки сосны не ветвятся либо имеют 1–2 разветвления. Однако в ряде случаев мы наблюдали остановку в росте и развитии пыльцевых трубок, что могло сопровождаться их интенсивным разветвлением и накоп-

лением крахмала. Данным исследованием установлено, что с приближением к источнику аэрополлютантов значение показателя ветвления пыльцевых трубок достоверно возрастает ( $r = -0,39$ ) (см. рис. 4), что косвенно указывает на снижение их жизнеспособности.

Таким образом, пул пыльцы сосны обыкновенной из зон техногенного загрязнения характеризуется высокой частотой цитоморфологических и функциональных нарушений. Участие такой пыльцы в репродукции может привести к снижению качества семян, низкой жизнеспособности сеянцев. Дальнейшие исследования структуры связей в системе атмосфера – снежный покров – почва – растение будут способствовать пониманию механизмов трансформации загрязняющих веществ, повреждения и устойчивости древесных растений, условий их успешной репродукции.

#### Выводы

1. В зоне действия дымовых выбросов в юго-восточном направлении от Рефтинской ГРЭС выделены зоны техногенного

загрязнения, различающиеся по качественному составу загрязняющих веществ снегового покрова и их количественным параметрам.

2. Древостои сосны из всех зон техногенного загрязнения характеризуются относительно более низкими значениями показателей фертильности пыльцы и содержания крахмала в пыльце, высокой частотой дегенерированной и мелкой пыльцы и пыльцы с цитологическими нарушениями по сравнению с древостоем в фоновых условиях. Указанные показатели пыльцы могут быть учтены при оценке репродуктивного потенциала древостоев в условиях техногенного стресса.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность заведующему лабораторией экологии техногенных растительных сообществ ФГБУ Ботанический сад УрО РАН С.Л. Менщикова за помощь в организации работ, мл. науч. сотр. Ботанического сада УрО РАН Н.А. Кузьминой за предоставленные данные по техногенному загрязнению снегового покрова, науч. сотр. К.Е. Завьялову, мл. науч. сотр. П.Е. Мохначеву за помощь в сборе материала.

#### Библиографический список

1. О состоянии и об охране окружающей среды свердловской области в 2014 году: гос. докл. Екатеринбург, 2015. 200 с.
2. Крылов Д. А., Сидорова Г. П. Еще раз об экологическом воздействии на окружающую среду угольных ТЭС России // Энергия: экономика, техника, экология. 2015. № 12. С. 2–11.
3. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году: гос. докл. 473 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/b27/gosdoklad\\_2015.pdf](http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/b27/gosdoklad_2015.pdf) (дата обращения: 15.09.2016).
4. Менщиков С. Л., Ившин А. П. Закономерности трансформации предтундровых и таежных лесов в условиях техногенного загрязнения. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 294 с.

5. Морфолого-анатомические особенности хвои сосны обыкновенной под влиянием промышленных выбросов города Красноярска / Л. Н. Скрипальщикова, И. А. Днепровский, В. В. Стасова, М. А. Пляшечник, Н. В. Грешилова, О. В. Калугина // Сиб. лесн. жур. 2016. № 3. С. 46–56.
6. Pine needles and pollen grains of *Pinus mugo* (Turra.) – A biomonitoring tool in high mountain habitats identifying environmental contamination / M. Chropenová, E. K. Gregusková, P. Karásková, P. Pribylová, P. Kukucka, D. Baráková, P. Cupr // Ecological Indicator. 2016. V. 66. P. 132–142.
7. The interaction of heavy metals and nutrients present in soil and native plants with arbuscular mycorrhizae on the riverside in the Matanza-Riachuelo River Basin (Argentina) / R. E. Mendoza, I. V. García, L. Cabo, C. F. Weigandt, A. F. Iorio // Science of The Total Environment. 2015. V. 505. P. 555–564.
8. Василевская Н. В., Петрова Н. В. Морфологическая изменчивость пыльцы *Pinus sylvestris* L. в условиях промышленного города (на примере г. Мончегорска) // Уч. записки Петрозавод. гос. ун-та. 2014. № 4. С. 7–12.
9. Влияние продуктов сжигания попутного газа при добыче нефти на репродуктивное состояние сосновых древостоев в северо-таежной подзоне / Д. Р. Анিকেев, И. А. Юсупов, Н. А. Луганский, С. В. Залесов, К. И. Лопатин // Экология. 2006. № 2. С. 122–126.
10. Использование показателей качества семян сосны обыкновенной для биоиндикации аэротехногенного загрязнения среды / П. Е. Мохначев, С. Г. Махнева, А. М. Потапенко, И. Е. Корчагин // Физиологические, педагогические и экологические проблемы здоровья и здорового образа жизни. Екатеринбург, 2016. С. 227–230.
11. Колесников Б. П. Леса Свердловской области // Леса СССР: в 4 т. М., 1969. Т. 4. С. 64–124.
12. Формирование искусственных насаждений на золоотвале Рефтинской ГРЭС / С. В. Залесов, Е. С. Залесова, А. А. Зверев, А. С. Оплетаев, А. А. Терин // ИВУЗ. Лесн. жур. 2013. № 2. С. 66–73.
13. Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале / А. К. Махнев, Т. С. Чибрик, М. Р. Трубина, Н. В. Лукина, Н. Э. Гебель, А. А. Терин, Ю. И. Еловикив, Н. В. Топорков. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 356 с.
14. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений. М.: Агропромиздат, 1988. 271 с.
15. Махнева С. Г., Бабушкина Л. Г., Зуева Г. В. Состояние мужской генеративной сферы сосны обыкновенной при техногенном загрязнении среды. Екатеринбург: УГЛТА. 2003. 154 с.

### Bibliography

1. On the state and Environmental Protection of the Sverdlovsk region in 2014: the State report. Yekaterinburg, 2015. 200 p.
  2. Krylov D. A., Sidorova G. P. Once again about the environmental impact on the environment coal-fired power plants of Russia // Energy: Economics, technique, ecology. 2015, № 12. S. 2–11.
  3. On the state and Environmental Protection of the Russian Federation in 2014: the State report. 473 p. [Electronic resource]. URL: [http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/b27/gosdoklad\\_2015.pdf](http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/b27/gosdoklad_2015.pdf) (reference date: 15.09.2016).
  4. Menshchikov S. L., Ivshin A. P. Regularities of transformation pretundra and boreal forests under conditions of technogenic pollution. Yekaterinburg: Ural Branch of Russian Academy of Science, 2006. 294 p.
  5. Morphological and anatomical characteristics of needles of Scots pine under the influence of industrial emissions of Krasnoyarsk / L. N. Skripalshchikova, I. A. Dneprovskaya, V. V. Stasova, M. A. Pasechnik, N. V. Greshilova, O. V. Kalugina // Journal of Siberian forest. 2016. No. 3. P. 46–56.
  6. Pine needles and pollen grains of *Pinus mugo* (Turra.) – A biomonitoring tool in high mountain habitats identifying environmental contamination / M. Chropenová, E. K. Gregusková, P. Karásková, P. Pribylová, P. Kukucka, D. Baráková, P. Cupr // Ecological Indicator. 2016. V. 66. P. 132–142.
-

7. The interaction of heavy metals and nutrients present in soil and native plants with arbuscular mycorrhizae on the riverside in the Matanza-Riachuelo River Basin (Argentina) / R. E. Mendoza, I. V. García, L. Cabo, C. F. Weigandt, A. F. Iorio // *Science of The Total Environment*. 2015. V. 505. P. 555–564.
8. Vasilevskaya N. V., Petrova N. V. Morphological variability of pollen of *Pinus sylvestris* L. under conditions of industrial cities (on the example of Monchegorsk) // *Scientific notes of Petrozavodsk state University*, 2014. No. 4. P. 7–12.
9. Effect of products of gas flaring in oil production on the reproductive condition of pine stands in the North taiga subzone / D. R. Anikeev, I. A. Yusupov, N. A. Lugansky, S. V. Zalesov, K. I. Lopatin // *Ecology*, 2006. No. 2. P. 122–126.
10. The use of quality indicators Scots pine seeds for bioindication of airborne industrial pollution / P. E. Mokhnachev, S. G. Makhniova, A. M. Potapenko, I. E. Korchagin // *Physiological, educational and environmental issues of health and healthy lifestyles*. Yekaterinburg, 2016. P. 227–230.
11. Kolesnikov B. P. Forest in Sverdlovsk region // *Forest of the Soviet Union*. In 4 volumes. M., 1969. Vol. 4. P. 64–124.
12. Formation of artificial plantations on the ash dump TPP Reftinskoe / S. V. Zalesov, E. S. Zalesova, A. A. Zverev, A. S. Opletaev, A. A. Thurin // *IVUZ. Forest Jurnal*. 2013. No. 2. P. 66–73.
13. Ecological bases and methods of biological reclamation of ash dumps of thermal power plants in the Urals / A. K. Makhnev, T. S. Cibric, M. R. Trubina, N. V. Lukina, N. E. Goebel, A. A. Thurin, Y. I. Elovikov, N. V. Toporkov. Yekaterinburg, Ural Branch of Russian Academy of Science, 2002. 356 p.
14. Pausheva Z. P. Workshop on plant cytology. M.: Agropromizdat, 1988. 271 p.
15. Makhneva S. G., Babushkina L. G., Zueva G. V. Status of male generative system of Scots pine at technogenic pollution. Yekaterinburg: USFEU, 2003. 154 p.

---

УДК 630.232.4:630.187

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛОНЦОВ В ЛЕСОКУЛЬТУРНЫХ ЦЕЛЯХ

О. В. ТОЛКАЧ – доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник,  
тел.: 8 (343) 322-56-41, e-mail: [tolkach\\_o\\_v@mail.ru](mailto:tolkach_o_v@mail.ru)\*

И. А. ФРЕЙБЕРГ – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник\*

\* ФГБУН Ботанический сад УрО РАН,  
620144, Екатеринбург. ул. 8 Марта, 202

Н. Ф. ЧЕРНОУСОВА – кандидат биологических наук  
ФГБУН Институт экологии растений и животных УрО РАН,  
620144, Екатеринбург. ул. 8 Марта, 202,  
тел.: 8 (343) 210-58-38, e-mail: [nf\\_cher@mail.ru](mailto:nf_cher@mail.ru)

**Ключевые слова:** Зауральская лесостепь, классификация солонцов, лесные культуры.

Общая площадь засоленных почв в мире составляет около 950 млн га. Они широко распространены и в России – 16,3 млн га, в том числе в Уральском регионе – 6,85 млн га. Лесоразведение в Зауральской лесостепи с вовлечением в хозяйственный оборот засоленных почв, занимающих огромную площадь на ее территории, является актуальной проблемой. Цель работы – установить ведущие эколого-биологические факторы, ограничивающие лесовыращивание в оригинальных природных условиях лесостепного Зауралья. О существовании таких факторов свидетельствует многолетний опыт создания культурценозов,