

представляет собой ряд трансформации лесных сообществ, а выделенные периоды и фазы характеризуют этапы этой трансформации. Доказательствами этому служат как широкое распространение в сообществах молодого возраста, теневыносливых видов, характерных для поздних стадий сукцессии, так и возникновение в древостоях высокого возраста яруса с преобладанием светолюбивых видов – березы и осины. Эти факторы вызвали ухудшение условий естественного возобновления сосны. В результате к настоящему времени возможность формирования сосновых древостоев путем естественного возобновления почти полностью исключена.

Нарушение хода лесообразовательного процесса привело к масштабной смене коренных насаждений на производные. При этом среди наиболее молодых сообществ, наряду с мелколиственными (березняки и осинники), довольно значительную площадь занимают древостои с преобладанием широколиственных пород (липы и дуба).

Однако, несмотря на значительные изменения, сообщества свежей субори расположенные на территории участка заповедника во многом сохранили особенности первозданных лесов центра Приволжской возвышенности: господство сосновых лесов естественного происхождения с развитым лишайнико-моховым покровом и целым комплексом таежных видов, большинство из которых находится около южной границы своих ареалов.

Список литературы:

1. Крюденер А.А. Сплошные и семенолесосечные рубки в типах насаждений приволжских губерний лесостепной области с преимущественно сосновым древостоем р // Лесной журнал. 1910. № 6. С. 685–756.
2. Калашников Л.Н. К характеристике боровой растительности Кададинской лесной дачи Кузнецкого уезда Саратовской области // Известия ССХИ. Вольск: Красный печатник, 1927. Вып.3. С. 38.
3. Барабанщиков А.С. Сосновые типы леса Приволжской лесостепи (на примере Кададинского леспромхоза Пензенского ОУПР лесного хозяйства) // Бот. журн. 1962. Т. 47, № 12. С. 1775–1785.
4. Благовещенский В.В. Растительность Приволжской возвышенности в связи с ее историей и рациональным использованием. Ульяновск: УЛГУ, 2005. 715 с.
5. Курнаев С.Ф. Основные типы леса средней части Русской равнины. М.: Наука, 1968. 354 с.

УДК 581.526

ЧИСЛЕННОСТЬ ПРОРОСТКОВ ИЗ ПОЧВЕННОГО БАНКА СЕМЯН СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ВОЗЛЕ КАРАБАШСКОГО МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО КОМБИНАТА

Н.Б. Куянцева¹, Д.А. Молчанова^{1,2}, А.Г. Мумбер¹, Д.В. Веселкин²

¹Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук, Миасс, Россия

²Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

THE NUMBER OF SEEDLINGS FROM THE SOIL SEED BANK OF PINE FORESTS NEAR THE KARABASH COPPER SMELTER

N.B. Kuyantseva¹, D.A. Molchanova^{1,2}, A.G. Mumber¹, D.V. Veselkin²

¹South Ural Scientific Centre Mineralogy and Environmental Geology of the Ural branch Russian Academy of Sciences, Miass, Russia

²Institute of Plant and Animal Ecology UB RAS, Ekaterinburg, Russia

borisovna_k@mail.ru

Аннотация. В вегетационном эксперименте оценили численность проростков из банка семян лесных почв, загрязненных тяжелыми металлами из выбросов Карабашского медеплавильного комбината, и из почв, собранных в фоновой зоне в Ильменском государственном заповеднике. Образцы субстратов из почвенных горизонтов А0 и А1, отобранные на 16 пробных площадях, экспонировали с июня по сентябрь. Установлено, что число проростков из почв, собранных в заповеднике, было в среднем в 7–8 (А0) и в 5–6 (А1) раз больше, чем число проростков из загрязненных субстратов.

Ключевые слова: почвенный банк семян, тяжелые металлы, лесная подстилка, гумусовый горизонт.

Почвенные банки семян (ПБС) важны для восстановления сообществ и сохранения их устойчивости, поскольку при разного рода нарушениях почвенные банки являются источником жизнеспособных семян видов, не всегда присутствующих в сообществах в вегетирующем состоянии. Почвенные банки изучаются в связи с использованием для восстановления сообществ, деградировавших в результате сельскохозяйственного использования [1], сплошных рубок и пожаров [2-4], инвазий чужеродных организмов [5, 6].

Семена некоторых растений могут оставаться жизнеспособными в почвах, сильно загрязненных тяжелыми металлами [7-11]. При этом потери семян ПБС в условиях загрязнения могут быть небольшими из-за токсического влияния тяжелых металлов на гетеротрофные организмы и паразитов [12]. С другой стороны, из-за угнетенного состояния растений, продуцирующих семена, формирование ПБС при загрязнении может быть замедленно. Дефицит питательных веществ в нарушенных почвах и чувствительность проростков к кислотности почвы и токсическому влиянию металлов также может ограничивать восстановление сообществ из почвенных банков [10]. Прорастание семян может ограничиваться также неблагоприятными физическими свойствами техногенных субстратов.

Мы полагаем, что изучение численности и состава почвенных банков семян может помочь лучше понять механизмы устойчивости и способности к восстановлению сообществ при их нарушении вследствие накопления тяжелых металлов. Поэтому целью работы было оценить численность проростков из банка семян лесных почв, загрязненных выбросами Карабашского медеплавильного комбината (КМК). Проверяли две гипотезы: (1) в условиях загрязнения лесных экосистем тяжелыми металлами численность проростков из ПБС снижается; (2) численность проростков из ПБС подстилок выше, чем в гумусовом горизонте.

Исследование провели в 2023 г. Пробы из почвенных горизонтов A0 и A1 дерново-подзолистых почв собрали с 16 пробных площадей (ПП): (1) с 8 ПП в березово-сосновых лесах в импактной зоне вблизи КМК в 3.5–9.5 км северо-восточнее КМК; (2) с 8 ПП в сосновых зеленомошных и зеленомошно-разнотравных лесах в фоновой зоне на территории Ильменского государственного заповедника (ИГЗ) в 33–50 км южнее КМК. По 3 независимых повторности материала (субстрата) из подстилок и почв с каждой ПП экспонировали в сосудах (ящиках) объемом 5 литров. Всего было 96 сосудов (16 ПП × 2 горизонта × 3 сосуда). Сосуды с июня по сентябрь экспонировали на открытом воздухе, прикрыв сеткой для защиты от животных и от местного семенного дождя. Поливали по мере высыхания субстратов. Проростки учитывали каждые 2 недели. Закономерности изменения численности проростков в сосудах в зависимости от зоны техногенной нагрузки, почвенного горизонта и тура учета проанализированы с использованием трехфакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с помощью программы JMP Pro 13.2.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2016).

Всего за время эксперимента провели 7 туров учета (рисунок). Семена из ПБС лучше прорастали на субстратах, собранных в фоновых лесах, чем на субстратах из импактной зоны. Число проростков из почв, собранных в заповеднике, в среднем в 7–8 (A0) и в 5–6 (A1) раз больше, чем число проростков из загрязненных субстратов. Например, во второй тур учетов число всходов в одном сосуде на субстрате из ИГЗ в среднем составило 14.9 ± 3.6 экземпляров на лесной подстилке и 10.2 ± 2.0 экземпляров на гумусовом горизонте. Аналогичные оценки для субстратов, собранных вблизи КМК, были заметно меньше: 2.2 ± 0.5 и 2.0 ± 1.0 , соответственно. Для субстратов, собранных в ИГЗ, заметна разная численность всходов, появившихся на материале из горизонтов A0 и A1: на подстилке всходов было больше, чем на материале из гумусового горизонта. Также для субстратов, собранных в ИГЗ, и в подстилке, и в гумусовом горизонте заметно, что максимальное число новых проростков появилось ко II–III турам учета. На субстратах, собранных в загрязненных лесах вблизи медеплавильного комбината, разности чисел появившихся проростков между почвенными горизонтами и между турами учетов не просматривается.

В трехфакторном ANOVA факторы «зона нагрузки», «горизонт» и «тур» влияли на

численность проросших семян на высоких уровнях значимости: зона – $F_{(1;644)}=58.81$, $P<0.0001$; горизонт – $F_{(1;644)}=11.32$, $P=0.0008$; тур – $F_{(6;644)}=7.86$, $P<0.0001$. Большинство взаимодействий факторов также были значимы: зона × горизонт – $F_{(1;644)}=7.99$, $P=0.0048$; зона × тур – $F_{(6;644)}=5.44$, $P<0.0001$; горизонт × тур – $F_{(6;644)}=0.88$, $P=0.5102$; зона × горизонт × тур – $F_{(6;644)}=0.65$, $P=0.6899$.

Мы сделали следующие выводы. (1) В среднем число проростков, появившихся из ПБС, было больше на субстратах, собранных в ИГЗ, по сравнению с КМК. Следовательно, техногенное загрязнение отрицательно повлияло на число жизнеспособных семян ПБС в почве или на их прорастание. (2) В среднем число проростков, появившихся из ПБС, было больше на субстратах из лесной подстилки, по сравнению с субстратами из гумусового горизонта. Это может быть следствием преимущественного попадания семян в ПБС с семенным дождем в верхние горизонты почв. (3) Существуют особенности численности прорастающих семян из ПБС в разных частях техногенного градиента: различия в числе проростков между почвенными горизонтами и в зависимости от тура учета выражены, в основном, в отношении субстратов из незагрязненных лесов.

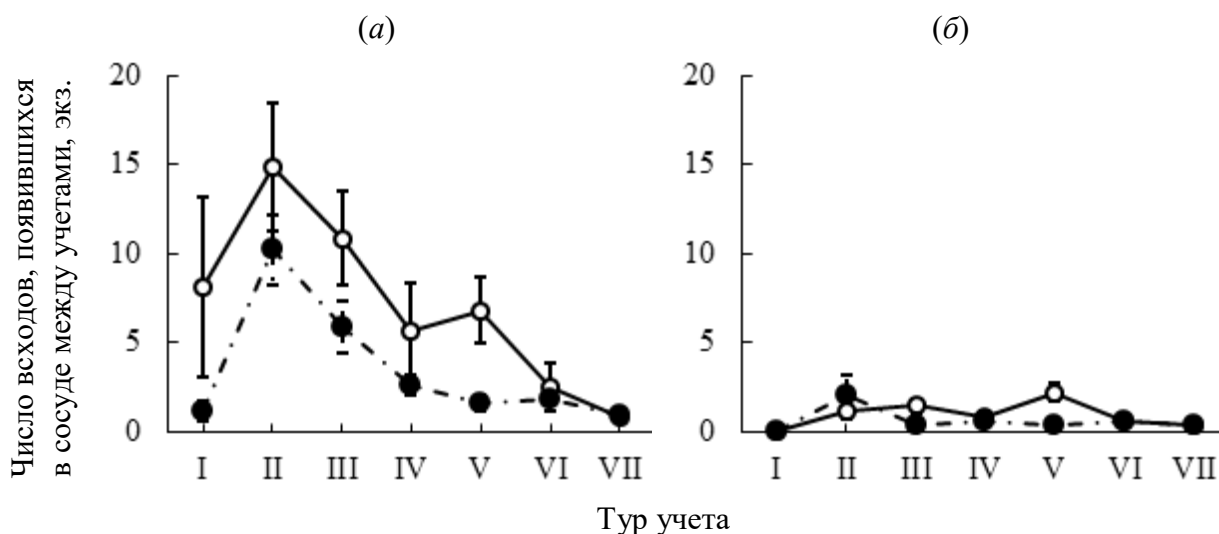


Рисунок. Динамика прорастания всходов из почвенного банка семян с разных территорий (а – территория ИГЗ, б – территория возле КМК) в пробах из лесной подстилки (сплошные линии и белые кружки) и из гумусового горизонта (штрихпунктирные линии и черные кружки). Вертикальные линии – SE

Следовательно, наша первая гипотеза подтвердилась полностью. Вторая гипотеза, согласно которой численность проростков из ПБС в лесных подстилках выше, чем в гумусовом горизонте, подтвердилась частично. Эта закономерность проявилась только в ненарушенных лесах. До окончания этапа таксономической идентификации всходов какие-то обобщающие заключения преждевременны. Но, вероятно, можно говорить о низкой восстановительной способности лесных сообществ в окрестностях КМК из-за низкой численности семян в их почвенных банках.

Источники финансирования работы:

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (проект № 23-24-10055).

Список литературы:

1. Mohammed S.A., Denboba M.A. Study of Soil Seed Banks in Ex-closures for Restoration of Degraded Lands in the Central Rift Valley of Ethiopia // Scientific Reports. 2020. V. 10. P. 1–9.
2. Konsam B., Phartyal S.S., Todaria N.P. Impact of forest fire on soil seed bank composition in Himalayan Chir pine forest // Journal of Plant Ecology. 2020. V. 13, № 2. P. 177–184.
3. Комарова Т.А., Терехина Н.В., Орехова Т.П. Покой жизнеспособных семян в почве и их прорастание после пожаров в широколиственно-кедровых лесах Южного Сихотэ-Алиня // Ботанический журнал. 2021. Т. 106, № 3. С. 255–271.
4. Комарова Т.А., Терехина Н.В., Прохоренко Н.Б. и др. Лесовосстановительный процесс после низового пожара и сплошной рубки в лианово-разнокустарниковых широколиственно-темнохвойно-кедровых лесах Южного Сихотэ-Алиня // Ботанический журнал. 2023. Т. 108, № 2. С. 111–126.

5. Hilton M., Konlechner T., McLachlan K. et al. Long-lived seed banks of *Ammophila arenaria* prolong dune restoration programs // *Journal of Coastal Conservation*. 2019. V. 23. P. 461–471.
6. Grewell B.J., Gillard M.B., Futrell C. J. et al. Seedling Emergence from Seed Banks in *Ludwigia hexapetala* - Invaded Wetlands: Implications for Restoration // *Plants*. 2019. V. 8, № 11. P. 451.
7. Komulainen M., Vieno M., Yarmishko V.T. et al. Seedling establishment from seeds and seed banks in forests under long-term pollution stress: a potential for vegetation recovery // *Can. J. Bot.* 1994. V. 72. P. 143–149.
8. Huopalaainen M., Tuittila E.-S., Vanha-Majamaa I. et al. The potential of soil seed banks for revegetation of bogs in SW Finland after long-term aerial pollution // *Annales Botanici Fennici*. 2000. V. 37. P. 1–9.
9. Huopalaainen M., Tuittila E.-S., Vanha-Majamaa I. et al. Effects of Long-Term Aerial Pollution on Soil Seed Banks in Drained Pine Mires in Southern Finland // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2001. V. 125. P. 69–79.
10. Salemaa M., Uotila T. Seed bank composition and seedling survival in forest soil polluted with heavy metals // *Basic and Applied Ecology*. 2001. V. 2, № 3. P. 251–263.
11. Wagner M., Heinrich W., Jetschke G. Seed bank assembly in an unmanaged ruderal grassland recovering from long-term exposure to industrial emissions // *Acta Oecologica*. 2006. V. 30, № 3. P. 342–352.
12. Meerts P., Grommesch C. Soil seed banks in a heavy-metal polluted grassland at Prayon (Belgium) // *Plant Ecology*. 2001. V. 155. P. 35–45.

УДК 574.4:502.5

ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ СОСНЫ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВЫБРОСОВ КАРАБАШСКОГО МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО КОМБИНАТА И ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Н.Б. Куянцева¹, А.Г. Мумбер¹, Д.А. Молчанова^{1,2}, Д.В. Веселкин²

¹Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского
отделения Российской академии наук, Миасс, Россия

²Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

NATURAL REGENERATION OF PINE IN PINE FORESTS UNDER THE INFLUENCE OF EMISSIONS FROM THE KARABASH COPPER SMELTER AND FOREST FIRES

N.B. Kuyantseva¹, A.G. Mumber¹, D.A. Molchanova^{1,2}, D.V. Veselkin²

¹South Ural Scientific Centre Mineralogy and Environmental Geology of the Ural branch Russian
Academy of Sciences, Miass, Russia

²Institute of Plant and Animal Ecology UB RAS, Ekaterinburg, Russia
borisovna_k@mail.ru

Аннотация. Оценили особенности естественного возобновления сосны в разновозрастных горельниках на Южном Урале в зависимости от уровня загрязнения тяжелыми металлами. Высокая изменчивость оценок плотности всходов сосны не позволила выявить сопряженность плотности всходов с уровнем загрязнения и/или пожарными нарушениями. Плотность всходов нелинейно связана с проективным покрытием травяно-кустарничкового яруса. С увеличением покрытия травяно-кустарничкового яруса плотность всходов увеличивалась на участках с высокими уровнями загрязнения и снижалась на участках с фоновым загрязнением.

Ключевые слова: тяжелые металлы, низовые лесные пожары, сосновые леса, всходы, семена.

Успешность естественного возобновления лесных деревьев определяется их биоэкологическими свойствами и условиями среды [1, 2]. В промышленных регионах все компоненты экосистем и экосистемные процессы, в том числе, послепожарное восстановление сообществ, могут зависеть от уровней техногенного загрязнения [3-5]. В Челябинской области в настоящее время площади сосновых лесов сокращаются, что связывают с недостаточной обеспеченностью преспевающих и спелых сосняков подростом сосны [6, 7]. Цель работы: изучение особенностей естественного возобновления сосны в ходе послепожарного восстановления экосистем при разных уровнях техногенного загрязнения. Предполагали, что плотность всходов сосны зависит как от техногенной нарушенности экосистем, так и от давности пожарных нарушений.