

**Проект Российского научного фонда № 23-24-10055**  
**«Устойчивость и разнообразие лесов промышленного региона: взаимодействие**  
**сильного техногенного загрязнения**  
**и периодических пожаров»**

**Состав группы:** Куянцева Н.Б., Мумбер А.Г., Рассомахин М.А., Молчанова Д.А.

**Сроки работ:** июнь-сентябрь

**Районы работ:** Кыштымское лесничество, г. Миасс, Ильменский государственный заповедник.

Преобладающее число работ, посвященных причинам (механизмам) динамики лесных экосистем одновекторны, т.е. рассматривают влияние на леса какого-либо одного (ведущего) фактора - пожаров, рубок, техногенных вмешательств и т.п. "Видимость" существования комплексных исследований задается разного рода обзорами, инвентаризациями и обобщениями. В локальных полевых экологических исследованиях, ориентированных на экспериментальное изучение причин и механизмов динамики лесов, одновременный анализ более чем одной причины состояния является редким. 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, сплошных рубок и пожаров, инвазий чужеродных организмов.

**Цель работы:** оценить закономерности изменения состояния лесных деревьев, древостоев, сообществ вегетирующих лесных растений и почвенных банков семян одновременно в зависимости от влияния двух факторов: уровня загрязнения почвы тяжелыми металлами и времени, прошедшего после последнего низового пожара.

**Задачи:**

1. Влияние на состояние деревьев, древостоев и на разнообразие лесов промышленного региона двух форм воздействия: техногенного загрязнения и лесных пожаров.
  2. Техногенная устойчивость банков семян как фактор восстановления лесов промышленного региона после пожара.
1. Заложены 16 ПП на основе программ GIS SAS Planet, спутниковых и векторных карт Google maps, toromapper, Bing, OSM Open Topomap (рис. 1), дана характеристика древостоев и сообществ вегетирующих растений, проведены таксационные расчеты с использованием нормативно справочных материалов; сбор проб почвенных и растительных образцов для количественного и качественного анализа (32 пробы).

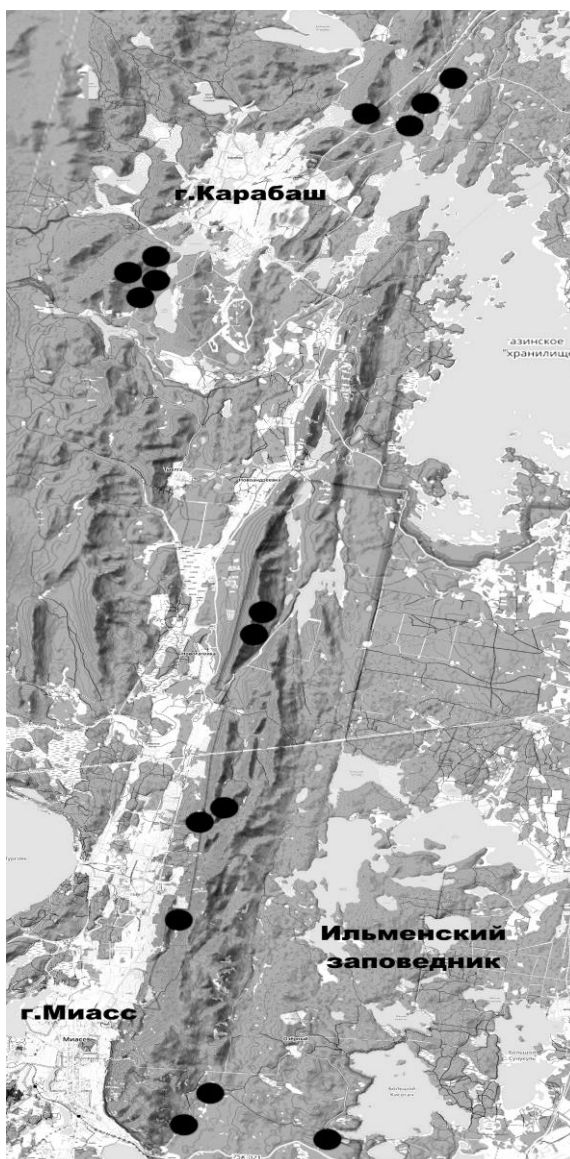


Рисунок-1. ПП лесопирологического мониторинга (Карабашское лесничество, Ильменский заповедник)

2. Заложен вегетационный эксперимент по почвенному банку семян (ПБС). Состав и обилие ПБС исследованы методом анализа динамики прорастания семян. Пробы из почвенных горизонтов А0 и А1 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 (рис. 2).





10.06.2023



22.07.2023





16.09.2023

Рисунок-2. Состояние сосудов в ходе вегетационного эксперимента.

#### Предварительные результаты:

В ходе исследований дана оценка численности 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. 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 (рис. 2). 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  $14.9 \pm 3.6$  экземпляров на лесной подстилке и  $10.2 \pm 2.0$  экземпляров на гумусовом горизонте. Аналогичные оценки для субстратов, собранных вблизи КМК, были заметно меньше:  $2.2 \pm 0.5$  и  $2.0 \pm 1.0$ , 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.

(a)

(б)

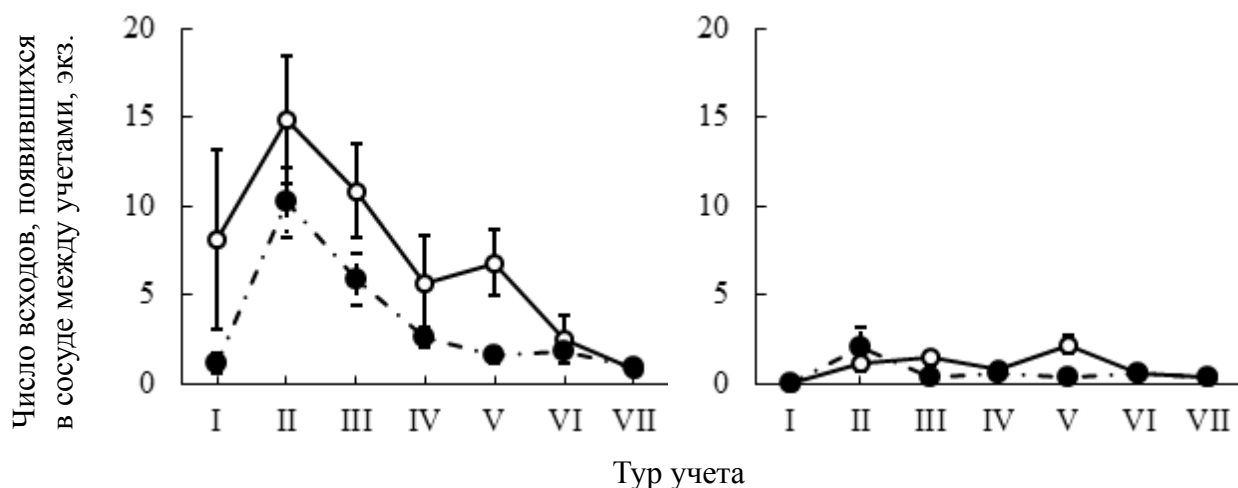


Рисунок-3. Динамика прорастания всходов из почвенного банка семян с разных территорий (а – территория ИГЗ, б – территория возле КМК) в пробах из лесной подстилки (сплошные линии и белые кружки) и из гумусового горизонта (штрихпунктирные линии и черные кружки). Вертикальные линии – SE.

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.

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.