

КОНТАКТНОЕ БИОТЕСТИРОВАНИЕ ПРОБ ПИРОГЕННОГО ГОРИЗОНТА ПОДЗОЛОВ

Надпорожская М. А.¹, Герасимов А. О.², Стадник Е. П.¹, Бакина Л. Г.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский Научно-исследовательский центр экологической безопасности
РАН – Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: m.nadporozhskaya@spbu.ru

Введение. Современное увеличение частоты и силы лесных пожаров приводит к падению экосистемной продуктивности. Особенно часто горят сухие сосновые леса. Примесь пироженных соединений изменяет физико-химические свойства почв, иногда проявляя токсичность (Коган, Панина, 2010). В первые годы на горях зола ингибирует прорастание и развитие растений. Отмечены также мобилизация тяжёлых металлов, появление полициклических ароматических углеводородов и других органических загрязнителей (Fernandez-Marcos, 2022). После низовых пожаров в частично выгоревшей подстилке сосняков выявлено повышение концентраций хризена, флуорена, пирена, антрацена, нафталина (Dymov et al., 2022). Выявление уровня и длительности токсического воздействия важно для прогноза скорости восстановления лесов после нарушения, а также для планирования рекультивационных мероприятий. Система экологического контроля за состоянием почв прежде базировалась только на сравнении содержания загрязнителей и их ПДК. В последнее время для интегральной оценки качества почв все чаще применяют методы биотестирования: элюатные (с водными вытяжками) или контактные (проращивание семян в увлажненной почве). Если почва загрязнена малорастворимыми в воде соединениями, контактный метод выявляет токсичность, а элюатный – нет. К примеру, острая токсичность почв, загрязнённых нефтью и содержащих продукты гидролиза иприта, была установлена только контактным методом (Бакина и др., 2004). Биотесты дешевле и менее трудоемки, по сравнению с количественной оценкой содержания конкретных соединений. Биотесты позволяют оценить необходимость аналитического этапа. В то же время биотестирование пока еще довольно новый методический подход, не все нюансы его проведения общеприняты и описаны. Цель настоящей работы – уточнение степени увлажнения проб подзолистого пироженного горизонта E_{руг} путем проведения контактного биотеста с семенами ячменя.

Объекты и методы. Сосновый кустарничково-зеленомошный лес. Ключевой участок: Толмачёво-1, Лужский район Ленинградской области, 58°52'08"N, 29°53'12"E. На 2022 год возраст древостоя составлял 114-142 года. Верховой пожар (диагностирован по кернам из стволов сосен) был здесь около 80 лет назад, последний беглый низовой пожар – около 18 лет назад. Геоботаническое описание выполнено Д.М. Мириным. Почва: иллювиально-железистый подзол (О – E_{руг} – E – B_г – BC). Для биотестов брали материал из горизонтов: E_{руг} (мощность 5-7 см, светло-серый песок, <1 мм, включения – мелкие древесные угли) и E (мощность 10-15 см, белесый песок, <1 мм, без включений). Физико-химические характеристики изучаемого подзола соответствовали типичным для данных почв.

Образцы подзола для опытов 2016-2017 гг. отобрали в 2013 году, высушили и хранили в лаборатории. В 2022 году пробоотбор производили дважды. 1) 15 мая 2022 года образцы брали из трёх разрезов. Каждая проба прошла индивидуальное тестирование. 2) 6 июня 2022 года из одного разреза: полевая влажность была 8,2 % в пробах E_{руг} и 1,5 % в пробах E. Тестировали пробы как свежие, так и предварительно высушенные. Для получения заданной в опыте влажности добавляли дистиллированную воду. Биотесты проводили по методике ФР.1.39.2006.02264.

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

Биотесты 2016-2017 годов проводили в лаборатории кафедры агрохимии СПбГУ в рамках учебной работы. В первом опыте (ноябрь 2016) для контроля использовали промытый дистиллированной водой песок из подзолистого горизонта Е, во втором и третьем (январь 2017-1 и декабрь 2017-2) – увлажнённую фильтровальную бумагу. Оптимальную влажность создавали, добавляя дистиллированную воду в воздушно-сухую почву до 60 % полной влагоёмкости (ПВ). Навеска сухой почвы на один пластиковый контейнер составляла 80 г. Повторность опыта – трёхкратная, в каждый контейнер сажали по 5-15 наклюнувшихся семян ячменя ярового, сорт Ленинградский, разновидность pallidum (шестирядный). Повторность опыта – двукратная, продолжительность и температура в помещениях составляла: в 2016 году 4 дня при +18 °С, в 2017 году – 3 (2017-1) и 4 (2017-2) дня при +24 °С. Семена проращивали в темноте. Основные отклонения от методики ФР.1.39.2006.02264: использование пророщенных семян, тест проведен в темноте с недостаточным количеством повторностей по вариантам.

Биотесты 2022-1 проводили в лаборатории методов реабилитации техногенных ландшафтов НИЦЭБ РАН – ФИЦ РАН. Использовали сухие семена ячменя ярового, сорт Суздалец, разновидность putans, всхожесть 98 %. Семена проращивали в чашках Петри в климатостате (20 °С, освещённость 800 Лк по 12 часов в сутки). Навеска почвы на одну чашку составляла около 50 г, количество семян – 20 штук. Почву увлажняли до 30 % ПВ. Повторность опыта – 4-кратная. Для контроля использовали промытый кварцевый песок. Кроме того, было проведено проращивание семян в воде для определения собственной энергии прорастания семян. На 4-е сутки учитывали всхожесть, длину корней и coleoptилей. Критерий токсичности – достоверные различия между опытом и контролем больше 20 %. Результаты обрабатывали методом вариационной статистики, достоверность различий определяли по критерию Стьюдента (t_{st}) для 95 % уровня вероятности ($P=0,95$). Биотесты 2022 г. (2 и 3) проводили в лаборатории кафедры агрохимии СПбГУ в чашках Петри при температуре 20-22 °С и естественном дневном освещении. Тестировали влияние различных уровней влажности почвы, 30, 60 и 90 % ПВ, разных масс почвенных проб (50 и 80 г), высаживание сухими и наклюнувшимися семенами, предварительное высушивание почвенных проб и использование свежей почвы. Обработку результатов проводили аналогично серии биотестов 2022-1.

Результаты и обсуждение. Опыты 2016-2017 гг. (таблица 1) при значительном варьировании результатов показали стабильное уменьшение длины корней проростков ячменя при контакте с вариантом $E_{\text{руг}}$ – на 40-50 % по сравнению с контролем, вне зависимости от вида контроля (промытый материал подзолистого горизонта Е или увлажненная фильтровальная бумага). Уменьшение длины coleoptилей было выражено слабо, на 10-14 %. Исходя из информации о давности пожаров на ключевом участке соснового леса Толмачево-1 (18 лет низовой и 80 лет верховой), можно было бы предположить, что токсичные вещества уже разложились или вынесены из профиля. Между тем, в литературе есть сведения, что древесные угли и сажа сохраняются от десятилетий до нескольких столетий (Дымов и др., 2018). Поэтому было принято решение провести биотестирование с точным соблюдением методики ФР.1.39.2006.02264, а также выяснить, нет ли неучтенных методических нюансов, которые еще недостаточно обсуждены в научной литературе.

Результаты биотестов 2022-1. Контактное биотестирование (в трех сериях опытов с почвенными образцами из трех разрезов, всего повторностей 180) показало отсутствие токсичности для семян ячменя в пирогенных подзолистых горизонтах при влажности 30 % ПВ (рис. 1). Отмечена небольшая стимуляция роста корней и coleoptилей, по сравнению с контролем (песок), а в трёх вариантах длины корней и coleoptилей были статистически достоверно больше. Также во всех вариантах прорастание семян было активнее, чем после намачивания в дистиллированной воде. Сделан вывод, что изученные пробы почв не токсичны при влажности 30 % ПВ.

Длины корней и coleoptилей проростков ячменя
при биотестировании пирогенных подзолов Толмачёво-1

Опыт повторность	Вариант	Корни		Coleoptили	
		мм±Sd	%	мм±Sd	%
2016 5	К, песок	11,0±3,2	100	7,9±0,6	100
	Еруг	4,3±1,0	39	7,1±1,6	90
2017-1 10	К, вода + фб	1,7±0,4	100	н/о	н/о
	Еруг	0,8±0,4	47	н/о	н/о
2017-2 45	К, вода + фб	44,9±6,6	100	38,3±11,2	100
	Еруг	26,3±9,4	59	33,1±6,5	86

К – контроль; фб – фильтровальная бумага, смоченная дистиллированной водой;
Sd – стандартное отклонение; н/о – не определяли

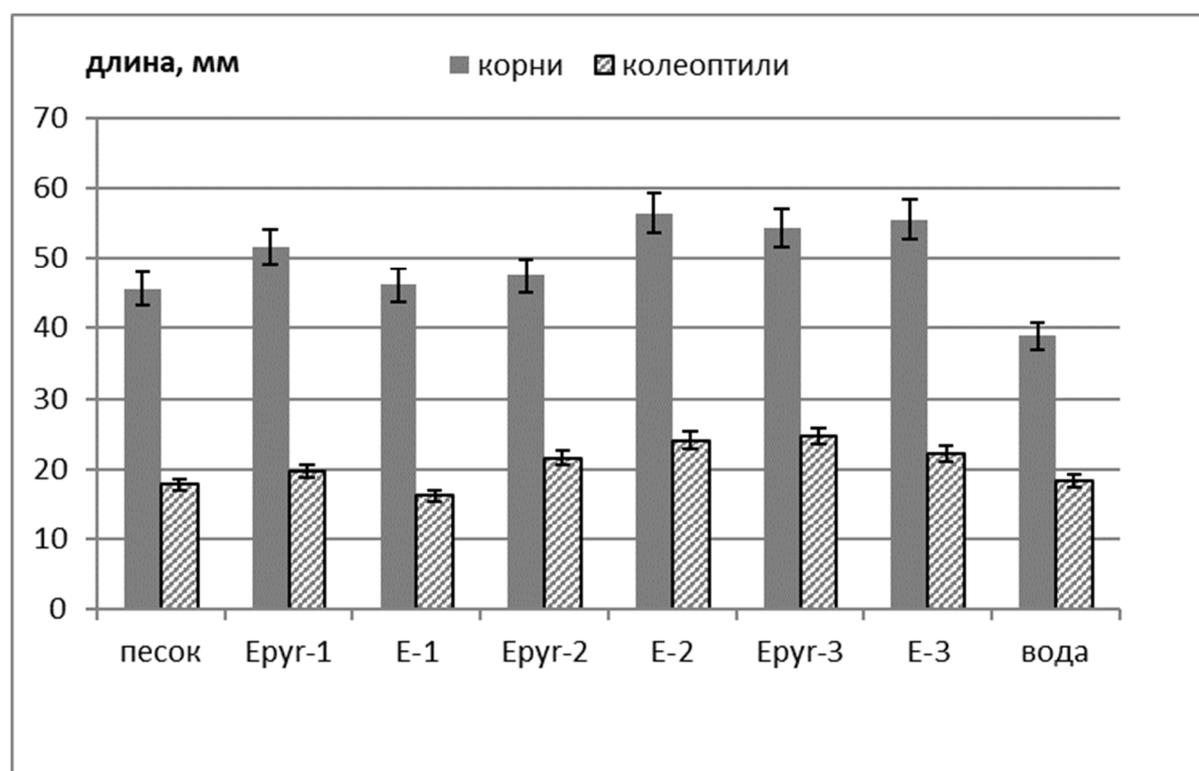


Рис. 1. Длины корней и coleoptилей проростков ячменя
при биотестировании пирогенных подзолов Толмачёво-1.
Песок – контроль с промытым кварцевым песком, Еруг, Е пробы
из соответствующих горизонтов изучаемого подзола.
Вода – собственное прорастание семян после намачивания

Результаты биотестов 2022 г. (2 и 3). Достоверных различий по сериям биотестов с навесками почв (50 и 80 г) с высаживанием сухих и наклюнувшихся семян не обнаружено (результаты не представлены). Увеличение влажности почвенных проб до 60 и 90 % ПВ приводило к достоверному уменьшению длины корней, по сравнению с вариантами 30 % ПВ (рис. 2). Полученные в биотестах 2016 и 2017 годов (1 и 2) результаты вызваны увлажнением почвы 60 % ВП.

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ
В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

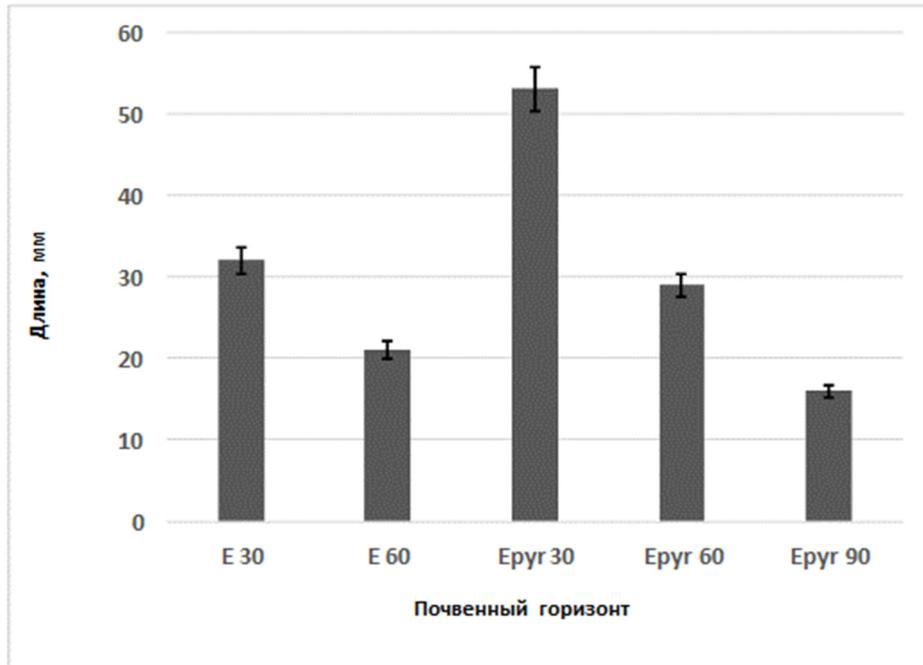


Рис. 2. Длины корней проростков ячменя при биотестировании пирогенных подзолов пос. Толмачёво. Еруг, Е – обозначения как на рис. 1. Дополнительные к буквенным индексам цифры (30, 60, 90) – влажность почвы в вариантах опыта, % от ПВ

Проведенные в 2022 г. опыты показали, что уточнение условий биотестирования важно, поскольку может значительно влиять на результаты. Обычно оптимальной принято считать влажность 60 % ПВ (Александрова, 1980), но, вероятно, оптимальная влажность может различаться для разных видов растений. Возможно, проростки злаков нуждаются в меньшем увлажнении, что обусловлено физиологическими особенностями этих растений. Требуется уточнение оптимальных значений влажности почвы по видам тестовых растений при контактном биотестировании. Обычно, до выполнения биотеста, такие работы проводят, но они не описаны в научной литературе.

Выводы. 1. Исследованные пробы пирогенных подзолов не обладали контактной токсичностью. Причина «кажущейся» токсичности Еруг – увлажнение 60 %. Влажность 30 % ПВ стимулировала рост корней проростков ячменя, по сравнению с 60 % ПВ. 2. Влажность почв 60 % ПВ принято считать оптимальной для лабораторных экспериментов по изучению трансформации органического вещества почв. Для контактных биотестов необходимо уточнять диапазоны оптимальной влажности почв, а также оценивать требовательность тестовых растений к этому показателю.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ 22-24-00690.

Список литературы

1. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы её трансформации. Ленинград: Наука. 1980. – 287 с.
2. Бакина Л.Г., Бардина Т.В., Маячкина Н.В. и др. К методике фитотестирования техногенно загрязнённых почв и грунтов // Материалы международной конференции «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения». Апатиты: изд-во Кольского научного центра РАН. 2004. Ч. 1. – С. 167–169.
3. Дымов А.А., Абакумов Е.В., Безкоровайна И.Н., Прокушкин А.С., Кузяков Я.В., Милановский Е.Ю. Влияние лесных пожаров на свойства почв (обзор литературы) // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – №4. – С. 13–23.

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

4. Коган Р.М., Панина О.Ю. Исследование влияние пожаров на фитотоксичность почв (на примере широколиственных лесов Еврейской автономной области) // Вестник ДВГСГА. Естественнонаучные знания. – 2010. – Том 2. – С. 41–50.

5. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв. ФР.1.39.2006.02264. 2009.

6. Dymov A.A., Grodnitskaya I.D., Yakovleva E.V., Dubrovskiy Yu.A., Kutuyavin I.N., Startsev V.V., Milanovsky E.Yu., Prokushkin A.S. Albic podzols of boreal pine forests of Russia: soil organic matter, physicochemical and microbiological properties across pyrogenic history // Forests. – 2022. – 13. – 1831.

7. Fernandez-Marcos M.L. Potentially Toxic Substances and Associated Risks in Soils Affected by Wildfires: A Review // Toxics. – 2022. – V. 10. – No 1. – P. 31.

УДК 504.453

СТРУКТУРА РЕЧНОЙ СЕТИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Нарожняя А.Г.

*ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный
исследовательский университет»
E-mail: Narozhnyaya_a@bsu.edu.ru*

Гидрографическая сеть Белгородской области представлена водными потоками, озерами, болотами, водохранилищами и прудами. Наиболее значимую часть гидросферы составляют реки и ручьи.

По разным оценкам территорию Белгородской области дренирует 575 постоянных водотоков различной длины, общей протяженностью 3927-4789 км (Петин, 2005, Чендев, 2006, Реки и водные объекты..., 2015). Наиболее крупные из них: Сейм, Псёл, Ворскла Северский Донец, Оскол, Потудань, Тихая Сосна, Черная Калитва. Территория изрезана балками (логами), оврагами, по склонам которых произрастают дубравы. Характерными чертами рек области являются: сильная извилистость, а порой и резкое изменение общего направления течения; все реки являются типично равнинными и имеют незначительные уклоны русел; долины большинства речных систем хорошо разработаны в ширину (5-10 км) и глубоко врезаются в коренные породы, с резко выраженной асимметрией склонов: правые склоны высокие, крутые, часто обрывистые, а левые – пологие, низменные (Природные ресурсы, 2007); реки относятся к морфологическому району полностью заиленных (Алексеевский, Беркович, 2012).

Однако точная характеристика длины, порядковой структуры речной сети для территории области отсутствует. Эти данные необходимы для общего анализа территории, выработки природоохранных мероприятий. Поэтому целью работы стало исследование структуры речной сети Белгородской области.

Изучать гидрографическую сеть удобно в привязке к бассейнам. Возможность рассматривать все компоненты ландшафта во взаимосвязи их характеристик с характеристиками стока воды позволяет бассейновая организация территории на IV уровне порядковой организации (Корытный, 2001).

В настоящее время декомпозиция территории по бассейновому принципу более объективно, чем прежде, может быть осуществлена с помощью ГИС-технологий.