



УДК 631.461

ВЫБОР МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОЧВ ПРИ ПЕРЕУВЛАЖНЕНИИ

КУЛАГИНА

Валентина Ивановна

к.б.н., Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, viksoil@mail.ru

СУНГАТУЛЛИНА

Люция Мансуровна

Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, sunlyc@yandex.ru

ТАГИРОВ

Рамис Марселевич

Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, ramis.tagirov@yandex.ru

РЯЗАНОВ

Станислав Сергеевич

Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, erydit@yandex.ru

ХИСАМОВА

Алина Маратовна

Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, his.alina94@mail.ru

Ключевые слова:

микроорганизмы почвы
интегральный показатель
переувлажнение почв
эколого-биологическое
состояние
биологическая активность
микромитоты
биомониторинг

Аннотация: Интегральный эколого-биологический показатель представляет широкие возможности для оценки антропогенного воздействия на почвы и биомониторинга. Каждый вид антропогенного воздействия характеризуется изменениями определенного набора биологических параметров почвы. Для расчета интегрального показателя следует выбрать параметры, статистически значимо изменяющиеся под влиянием конкретного неблагоприятного фактора. В статье представлены результаты работы по выявлению микробиологических показателей, наиболее чувствительных к переувлажнению почв. Материалами исследования послужили образцы чернозема выщелоченного и аллювиальной дерновой почвы, находившиеся 3.5 месяца в контролируемых условиях модельного опыта по влиянию переувлажнения на почвы. Образцы выдерживались в пластиковых контейнерах при затоплении и оптимальной влажности, с добавлением и без добавления раствора сахарозы. По окончании опыта в образцах методом посева на твердые питательные среды определялась численность пяти экологотрофических групп микроорганизмов. Определение проводилось в

трех повторностях. Определялась статистическая значимость разницы численности групп микроорганизмов между затопленными почвами и почвами с оптимальной влажностью. Показано, что затопление приводит к снижению численности большинства изученных микроорганизмов. Установлено, что по чувствительности микроорганизмов к затоплению и процессам оглеения можно расположить их в следующий ряд по убыванию: микроскопические грибы, актиномицеты, амилитические, аммонификаторы, споровые. Наиболее устойчивы к затоплению почв споровые микроорганизмы. Статистическая обработка результатов не выявила зависимости между их численностью в аллювиальных почвах и окислительно-восстановительным потенциалом. Интегральный показатель, рассчитанный с учетом численности только трех наиболее чувствительных групп микроорганизмов, имеет более высокий коэффициент корреляции с окислительно-восстановительным потенциалом почвы, чем рассчитанный с учетом всех пяти групп.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 27 июня 2019 года

Подписана к печати: 19 декабря 2019 года

Введение

Методика расчета интегрального показателя эколого-биологического состояния была разработана Казеевым, Колесниковым и Вальковым (Казеев и др., 2003, 2012) для оценки и сравнения почв при разных уровнях антропогенного воздействия. Под антропогенным воздействием в первую очередь понималось загрязнение тяжелыми металлами и нефтепродуктами (Казеев и др., 2003, 2012). Благодаря универсальности способа подсчетов, а также взаимозаменяемости используемых показателей, за прошедшее время интегральный показатель применялся для оценки состояния городских почв (Сальников и др., 2018), для оценки состояния почв при разных технологиях земледелия (Григорьян и др., 2014), для оценки корреляции биологической активности почв со структурным состоянием черноземов (Турусов и др., 2017), для сравнения биологической активности автоморфных почв (Горбцова и др., 2015) и урбаноземов (Калинкина и др., 2016).

В данной работе сделана попытка применить интегральный показатель при оценке негативного воздействия на почвы Республики Татарстан такого явления, как переувлажнение, которое часто носит антропогенный характер. Переувлажнение изменяет не только физико-химические, но и биологические показатели почвы. Причем, по литературным данным, биологическая активность дает наиболее быстрый отклик по сравнению с физико-химическими показателями.

Поэтому весьма полезным было бы найти эколого-трофические группы микроорганизмов, являющиеся индикаторными для переувлажненных почв данной зоны, и оценить

суммарный эффект переувлажнения на несколько почвенных параметров.

Цель данного исследования – выбрать наиболее информативные микробиологические показатели, коррелирующие с важнейшими физико-химическими параметрами переувлажненных почв, для расчета интегрального показателя эколого-биологического состояния почв, и подсчитать этот показатель для переувлажненных почв и почв с оптимальным увлажнением.

Выявленные показатели могут быть использованы при биомониторинге переувлажнения и временного затопления почв.

Материалы

Исследования проводились с образцами естественных природных почв, для которых искусственно были созданы условия переувлажнения в лабораторном модельном опыте.

Опыты проводились с образцами гумусовых горизонтов зональной и незональной почвы:

- аллювиальная дерновая средне-суглинистая из поймы р. Свияга Буинского района Республики Татарстан с содержанием гумуса 3.9 %, реакцией среды водной вытяжки 8.3;
- чернозем выщелоченный средне-суглинистый из Мензелинского района Республики Татарстан с содержанием гумуса 8.6 %, реакцией среды водной вытяжки 7.8.

Лабораторный модельный эксперимент включал по 4 варианта для каждой почвы: 1) застойный режим; 2) застойный режим с добавлением 1 % раствора сахарозы; 3) оптимальная влажность (60 % от общей влагоем-

кости); 4) оптимальная влажность с добавлением 1 % раствора сахарозы. Подразумевалось, что раствор сахарозы должен создать более благоприятные условия для развития анаэробных микроорганизмов.

Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) почв в первый день опыта составлял для аллювиальной дерновой почвы 272 mV, для чернозема – 291 mV.

Примерно через 3.5 месяца из контейнеров с исследуемыми вариантами были отобраны образцы на микробиологический анализ и определение окислительно-восстановительного потенциала почвы.

Методы

Определение численности групп микроорганизмов проводилось методом посева почвенной суспензии на твердые питательные среды:

1) способных использовать азот органических соединений (аммонифицирующих) – на мясо-пептонный агар (МПА), или, по-другому, nutrient agar;

2) амилалитических (использующих минеральный азот) – на крахмал-аммиачный агар (КАА);

3) актиномицетов – также на КАА;

4) споровых микроорганизмов – на МПА после кратковременной пастеризации;

5) микроскопических грибов (микромикетов) – на среду Чапека (Методы..., 1991; Churkina и др., 2012; Szegi, 1976; Asadu et al., 2015).

Определение проводилось в трех повторностях. Коэффициент минерализации и иммобилизации (Кмин), по Е. Н. Мишустину (1956), рассчитывали как соотношение численности амилалитических (выращенных на крахмал-аммиачном агаре) и аммонифицирующих (выращенных на мясо-пептонном агаре) микроорганизмов.

Интегральный показатель эколого-биологического состояния почв рассчитывался по методике, предложенной авторами (Казеев и др., 2003, 2012).

Окислительно-восстановительный потенциал почв определялся потенциометрическим методом.

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программы Excel.

Результаты

Установлено, что через 3.5 месяца в вариантах с затоплением окислительно-восстановительный потенциал сместился в сторону отрицательных значений, что свидетельствует о протекании процессов оглеения (рис. 1).

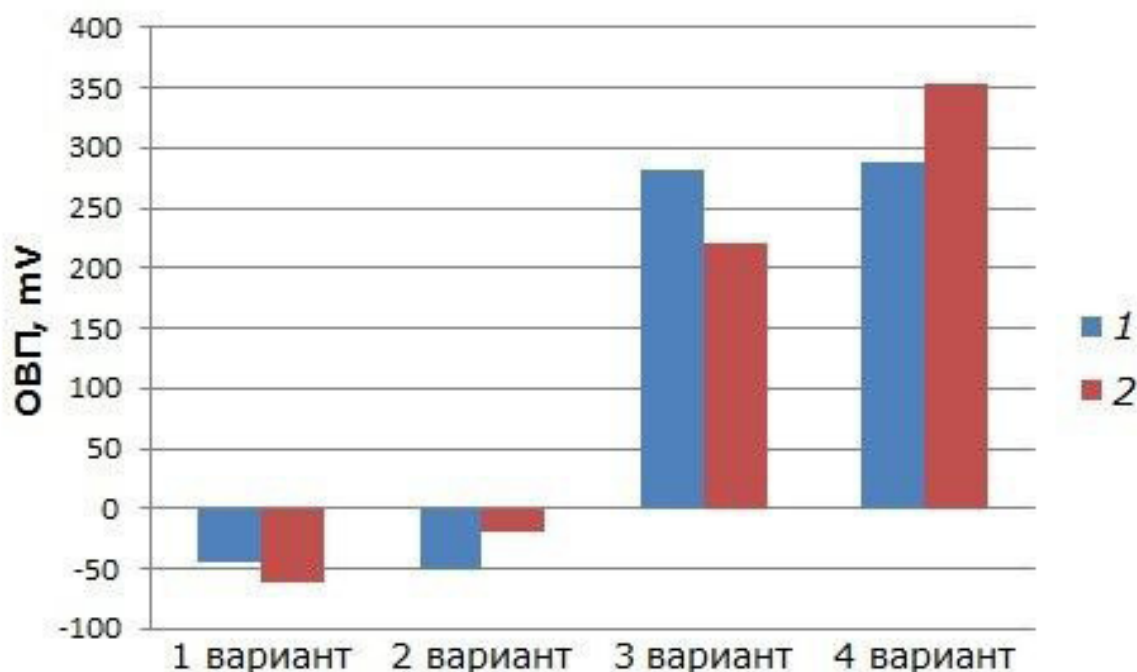


Рис. 1. Окислительно-восстановительный потенциал через 3.5 месяца после начала проведения модельного опыта: 1 – в аллювиальной почве, 2 – в черноземе

Fig. 1. Redox potential 3.5 months after the start of the model experiment: 1 – in the alluvial soil, 2 – in the black soil

Полученные результаты показали, что численность микроорганизмов, способных потреблять органический азот (аммонификаторы), в вариантах с затоплением через 3.5 месяца имела тенденцию к снижению по сравнению с образцами тех же почв, выдерживаемых при оптимальной влажности (рис. 2). Однако статистическая обработка

результатов подтвердила значимую разницу при $p = 0.05$ лишь для аллювиальных почв. Значимой разницы по содержанию данной эколого-трофической группы микроорганизмов между черноземом выщелоченным и аллювиальной дерновой почвой не наблюдалось.

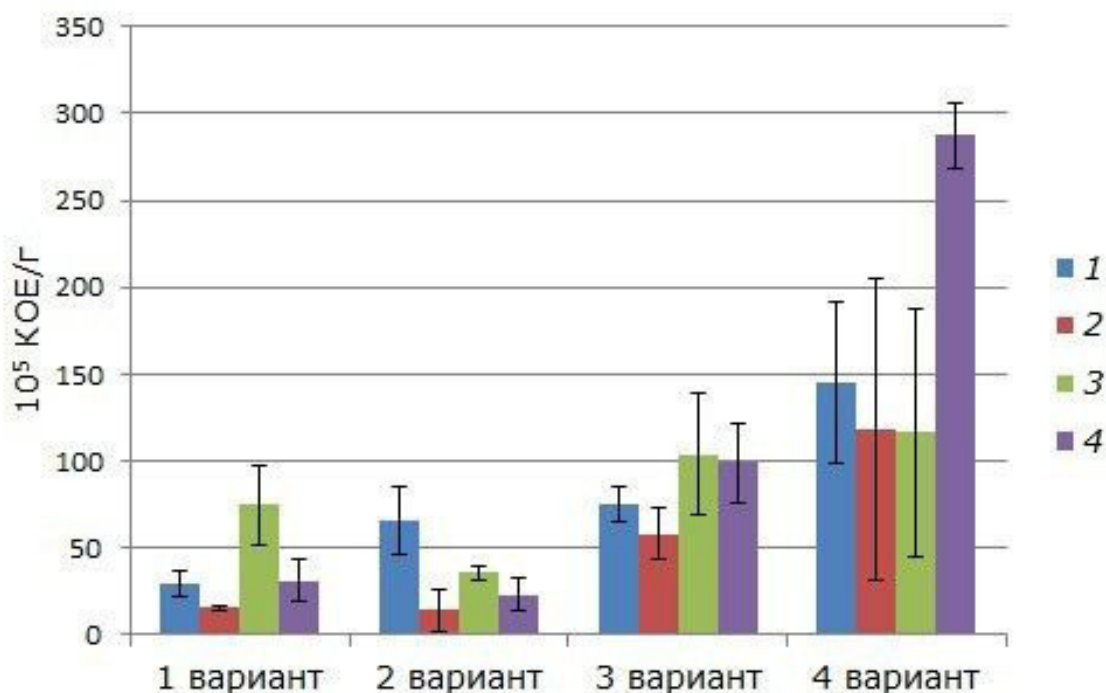


Рис. 2. Численность аммонификаторов и амилолитических микроорганизмов через 3.5 месяца после начала проведения модельного опыта по переувлажнению (среднее и стандартные отклонения): 1 – численность аммонификаторов в аллювиальной почве, 2 – численность амилолитических микроорганизмов в аллювиальной почве, 3 – численность аммонификаторов в черноземе, 4 – численность амилолитических микроорганизмов в черноземе

Fig. 2. The number of ammonifiers and amylolytic microorganisms 3.5 months after the start of the model experiment on waterlogging (mean and standard deviations): 1 – the number of ammonifiers in the alluvial soil, 2 – the number of amylolytic microorganisms in the alluvial soil, 3 – the number of ammonifiers in black soil, 4 – the number of amylolytic microorganisms in the black soil

Коэффициент корреляции между численностью микроорганизмов-аммонификаторов и окислительно-восстановительным потенциалом через несколько месяцев проведения опыта для аллювиальной почвы составил 0.75, для чернозема – 0.84 (коэффициент корреляции Пирсона при $p < 0.05$), что свидетельствует о высокой степени зависимости между этими признаками.

Численность микроорганизмов, потребляющих минеральный азот (амилолитических), также снижалась в вариантах с затоплением по сравнению с вариантами с оптимальной влажностью. Статистическая обработка результатов показала значимые различия между переувлажненными и не-

переувлажненными вариантами при $p = 0.05$ как для аллювиальной почвы, так и для чернозема выщелоченного. В целом данные по численности амилолитических микроорганизмов согласуются с полученными ранее для других почв (Кандашова, 2016; Кандашова и др., 2015), но в нашем случае результат оказался более выраженным.

Численность актиномицетов, также выращиваемых на КАА, но подсчитываемых отдельно, в целом повторяет закономерности распределения по вариантам всей группы микроорганизмов, потребляющих минеральный азот (рис. 3). При затоплении также прослеживается угнетение по сравнению с оптимальной влажностью, заметен всплеск численности на варианте «чернозем при

оптимальной влажности + сахара», объясняемый теми же причинами. Статистическая обработка результатов подтвердила значимые различия между вариантами с затопле-

нием и вариантами с оптимальной влажностью как для аллювиальной почвы, так и для чернозема.

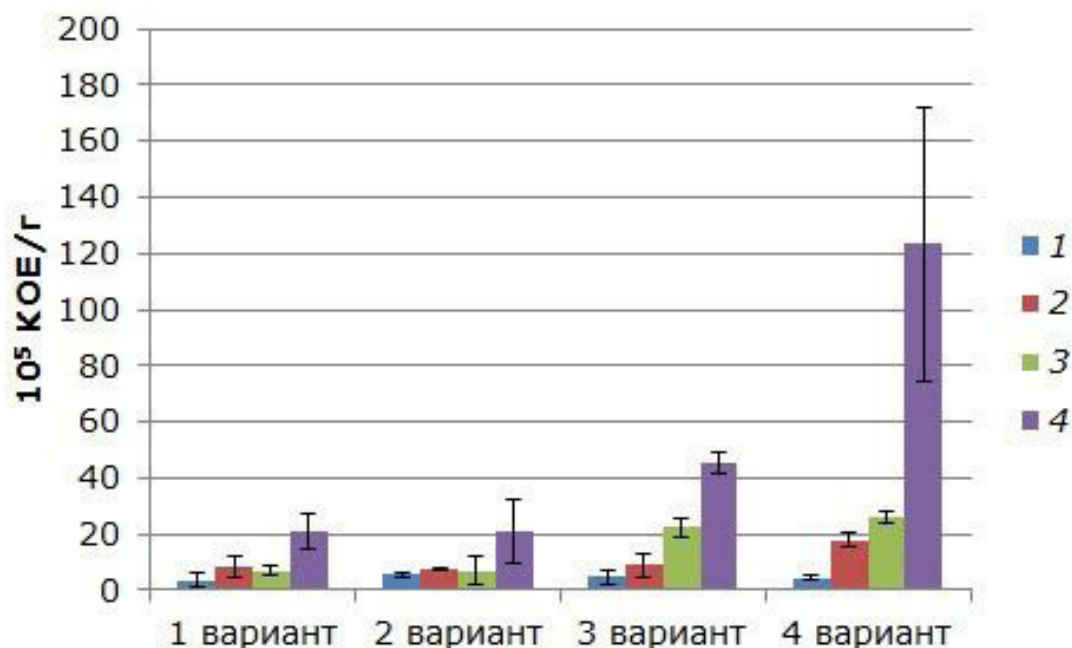


Рис. 3. Численность актиномицетов и споровых микроорганизмов через 3.5 месяца после начала проведения модельного опыта по переувлажнению почв (среднее и стандартные отклонения): 1 – численность споровых микроорганизмов в аллювиальной почве, 2 – численность споровых микроорганизмов в черноземе, 3 – численность актиномицетов в аллювиальной почве, 4 – численность актиномицетов в черноземе

Fig. 3. The number of actinomycetes and spore microorganisms 3.5 months after the start of the model experiment on waterlogging (mean and standard deviations): 1 – the number of spore microorganisms in the alluvial soil, 2 – the number of spore microorganisms in black soil, 3 – the number of actinomycetes in the alluvial soil, 4 – the number of actinomycetes in black soil

Коэффициент корреляции между ОВП и численностью актиномицетов для аллювиальных почв равен 0.99, для черноземов – 0.90, что свидетельствует об очень высокой корреляционной связи.

Затопление не оказало заметного влияния на численность споровых микроорганизмов (см. рис. 3). Для аллювиальных почв статистическая обработка результатов не выявила значимых отличий между всеми вариантами опыта. Для черноземов статистически достоверная разница обнаружена лишь для варианта при оптимальной влажности с сахарозой со всеми остальными вариантами. Дополнительный источник питания в комплексе с оптимальным увлажнением привел к увеличению численности наиболее устойчивых сапротрофных микроорганизмов в два с лишним раза. Зато статистически значимые отличия были отмечены между численностью споровых микроорганизмов в

разных типах почв при одном и том же варианте увлажнения, что свидетельствует о том, что для каждого типа почв характерно определенное количество споровых микроорганизмов.

Численность споровых микроорганизмов в аллювиальной почве не связана с ОВП. Коэффициент корреляции между этими признаками равен -0.009, что свидетельствует об отсутствии какой-либо зависимости. Для чернозема коэффициент корреляции между этими признаками составляет 0.81, что может говорить о достаточно высокой зависимости.

Численность микроскопических грибов, определяемая посевом на среду Чапека, оказалась более чувствительным показателем застойного переувлажнения (рис. 4). Затопление и переувлажнение привели к уменьшению численности микромицетов в 40–70 раз по сравнению с оптимальной

влажностью почв. Статистическая обработка результатов подтвердила значимые различия между вариантами с затоплением и без него как для аллювиальной дерновой почвы, так и для чернозема выщелоченного. Интересно, что статистически значима разница между черноземом и аллювиальной почвой по численности микромицетов при оптимальной влажности. Вероятно, данный

показатель пригоден для выявления отличий между типами почв.

Коэффициент корреляции между ОВП и численностью микроскопических грибов (микромицетов) в вариантах с черноземом равен 0.92, а в случае аллювиальных почв приближается к единице и составляет 0.99, что позволяет говорить о прямой, очень сильной зависимости.

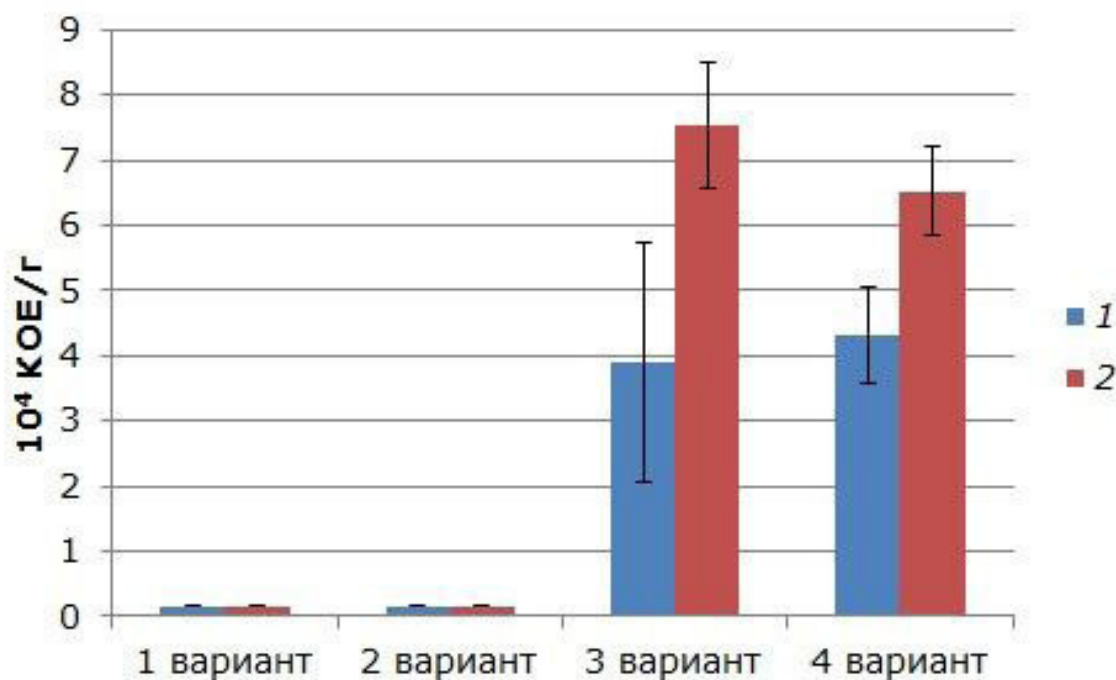


Рис. 4. Численность микроскопических грибов через 3.5 месяца после начала проведения модельного опыта: 1 – в аллювиальной почве, 2 – в черноземе

Fig. 4. The number of microscopic fungi 3.5 months after the start of the modeling experiment: 1 – in alluvial soil, 2 – in black soil

Обсуждение

Проведенные исследования показывают, что в аллювиальных и черноземных почвах Республики Татарстан чувствительность микробиологических показателей к затоплению и процессам оглеения можно расположить в следующий ряд по убыванию: микромицеты > актиномицеты > амилотические > аммонификаторы > споровые. Полученный ряд в целом близок к результатам Кандашовой (2015, 2016), отмечавшей максимальную чувствительность микромицетов. Полученные нами результаты согласуются с данными других исследователей (Churkina et al., 2012; Gadd, 2007), которые подчеркивали, что микроскопические грибы – это наиболее требовательные к кислороду сапрофиты и наибольшую роль в экосистеме играют в аэробных условиях. Анаэробные условия, возникающие при затоплении, для

микромицетов крайне неблагоприятны и ведут к подавлению их численности.

Споровые микроорганизмы оказались наиболее устойчивы к условиям затопления. Их численность достоверно не изменялась от условий увлажнения. Вместе с тем необходимо отметить, что доля споровых микроорганизмов от общей численности микробного сообщества при затоплении возрастает, что обычно наблюдается при ухудшении условий жизни в почве (Hristeva et al., 2015).

Численность аммонификаторов через 3.5 месяца затопления не возросла, что несколько расходится с данными Кандашовой, которая отмечала увеличение численности аммонификаторов на 100-й день опыта при затоплении по сравнению с вариантом с влажностью почвы 60 % (Кандашова, 2016; Кандашова и др., 2015). По-видимому, это связано с тем, что в опыте использовались разные почвы. Возможно также явление,

отмеченное другими исследователями, участвующими затопляемые почвы: из-за истощения лабильного органического вещества микробная активность снижается примерно через четыре месяца (Sjogaard et al., 2018). В нашем случае численность аммонификаторов не показала себя ярким индикатором переувлажнения почв.

Интересно, что добавление сахарозы привело к уменьшению численности амилалитических микроорганизмов при затоплении, но к увеличению при оптимальной влажности. Предположительно, это связано с более значительным смещением в сторону отрицательных значений окислительно-восстановительного потенциала почв именно при внесении сахарозы в переувлажненную почву. Внесение сахарозы в черноземную почву при оптимальной влажности через 3.5 месяца привело к значительному (в два с лишним раза) увеличению численности амилалитических микроорганизмов. По-видимому, причина в изменении соотношения C:N при внесении сахарозы. Многие исследователи отмечают, что смещение соотношения C:N за счет внесения какого-либо компонента в почву приводит к изменению

направленности процессов от минерализации к иммобилизации азота (Singh et al., 2010; Van Zwieten et al., 2010; Hagemann et al., 2016; Wang et al., 2011). Обычно отмечается, что аммонификаторы интенсивно работают при соотношении C:N до 20–25. Если соотношение более широкое, начинается интенсивная иммобилизация азота амилалитическими микроорганизмами, что и произошло в данном случае.

Зависимость между численностью микроорганизмов, потребляющих минеральный азот, и ОВП почв оказалась даже более тесной, чем между численностью аммонификаторов и ОВП. Коэффициент корреляции для аллювиальной почвы составил 0.87, для чернозема – 0.92 (при $p < 0.05$).

Коэффициент минерализации/иммобилизации, по Мишустину, представлен в табл. 1. Процессы минерализации и иммобилизации находятся в равновесии в черноземе, инкубируемом при оптимальной влажности. В этом варианте коэффициент наиболее близок к единице. Полученный результат согласуется с литературными данными (Гридасова и др., 2015).

Таблица 1. Коэффициент минерализации/иммобилизации (по Мишустину)

Коэффициент минерализации	Затопление	Затопление + сахароза	Оптимальная влажность	Оптимальная влажность + сахароза
Для аллювиальной почвы	0.54	0.22	0.78	0.82
Для чернозема	0.42	0.65	0.95	2.47

При значении коэффициента, равном единице или около единицы, разночтений в его интерпретации у разных авторов нет, в отличие от других вариантов.

Дело в том, что в части работ коэффициент меньше единицы считается показателем преобладания процессов минерализации, больше единицы – иммобилизации азота (Мишустин, 1956; Концевая и др., 2018). В других работах значения коэффициента трактуются противоположным образом (Кутюкова и др., 2018; Churkina et al., 2012).

Процессы, протекающие в почве, гораздо более сложны, могут чередоваться во времени, уменьшение или увеличение численности групп микроорганизмов может быть вызвано разными причинами. По-видимому, и в том, и в другом варианте интерпретации

имеется своя логика, и оба имеют право на существование.

Добавление сахарозы в чернозем с оптимальной влажностью привело к резкому увеличению коэффициента минерализации. Таким образом, если рассматривать первый вариант интерпретации, в данной почве через 3.5 месяца инкубации преобладают процессы иммобилизации. В этом случае можно применить первый вариант интерпретации.

В вариантах с затоплением коэффициент минерализации получился меньше единицы. В данном случае дать однозначную интерпретацию по коэффициенту Мишустина не представляется возможным. В переувлажненных почвах низкое содержание микроорганизмов, потребляющих минеральный азот, а следовательно, и доступного мине-

рального азота. Вероятно, он был потерян в результате процессов, которые развиваются при затоплении почв (Singandhupe, Rajput, 1989; Sjogaard et al., 2018). Могут быть и другие причины. Интерпретация вызывает затруднения.

Напрашивается вывод, что в данном случае коэффициент минерализации не стоит использовать для оценки эколого-биологического состояния как из-за сложности интерпретации, так и из-за дублирования взаимосвязанных показателей (численность аммонификаторов и амилолитических микроорганизмов).

Далее была предпринята попытка рассчитать два варианта интегрального эколого-

биологического показателя: на основе всех пяти определенных микробиологических параметров и только трех наиболее чувствительных.

На первом этапе расчета необходимо какое-то значение параметра принять за 100 %. В качестве такого был выбран вариант с оптимальной влажностью без добавления сахарозы, поскольку он более всего соответствовал критериям контроля. Другие значения этого показателя выражались в процентах к нему. Затем рассчитывалось среднее арифметическое выбранных показателей.

В табл. 2 представлены результаты расчетов.

Таблица 2. Интегральный эколого-биологический показатель (ИПЭБС), рассчитанный по пяти и по трем микробиологическим параметрам

ИПЭБС	Затопление	Затопление + сахароза	Оптимальная влажность	Оптимальная влажность + сахароза
Чернозем выщелоченный				
По 5 параметрам	49.8	38.1	100.0	192.7
По 3 параметрам	26.8	24.0	100.0	216.3
Аллювиальная дерновая				
По 5 параметрам	35.4	53.6	100.0	144.3
По 3 параметрам	20.4	19.6	100.0	143.1

В обоих случаях при затоплении наблюдается снижение значений ИПЭБС по сравнению с контролем, а при добавлении сахарозы при оптимальной влажности – повышение. Однако при использовании в расчетах только самых чувствительных микробиологических параметров коэффициент корреляции между ОВП почвы и ИПЭБС был выше, чем при использовании всех исследованных пяти параметров (соответственно 0.96 и 0.95 для аллювиальной почвы и 0.96 и 0.92 для чернозема).

Заключение

Проведенные исследования показали, что наиболее чувствительными к затоплению микроорганизмами являются микроскопические грибы, численность которых уменьшается в 40–70 раз. После 3.5 месяца затопления достоверно снижается численность актиномицетов и в целом амилолити-

ческих микроорганизмов в аллювиальных дерновых почвах и черноземе выщелоченном. Численность аммонификаторов при затоплении также уменьшилась, хотя это уменьшение статистически значимо только для аллювиальной почвы. Численность споровых микроорганизмов достоверно не изменилась в результате затопления. Численность всех групп микроорганизмов, кроме споровых, коррелирует с окислительно-восстановительным потенциалом почвы. Таким образом, к индикаторным микробиологическим показателям среди изученных можно отнести численность микромицетов, актиномицетов и амилолитических микроорганизмов. При расчете интегрального эколого-биологического показателя для выявления отличий переувлажненных почв рекомендуются именно эти микробиологические показатели.

Библиография

- Горобцова О. Н., Хезева Ф. В., Улигова Т. С., Темботов Р. Х. Эколого-географические закономерности изменения биологической активности автоморфных почв равнинных и предгорных территорий северного макросклона Центрального Кавказа (в пределах Кабардино-Балкарии) // Почвоведение. 2015. № 3. С. 347–359.
- Григорьян Б. Р., Кольцова Т. Г., Сунгатуллина Л. М. Методические рекомендации по оценке почвенно-экологического состояния земель сельскохозяйственного назначения на соответствие требованиям органического земледелия. Казань, 2014. 52 с.
- Гридасова О. В., Верховцева Н. В., Проценко А. А., Проценко Е. П., Савченко Л. А., Неведров Н. П. Особенности микробных сукцессий в вегетационной и многолетней динамике в черноземах заповедной луговой степи и черного пара // Проблемы агрохимии и экологии. 2015. № 4. С. 37–44.
- Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2003. 216 с.
- Казеев К. Ш., Колесников С. И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального университета, 2012. 260 с.
- Калинкина В. Е., Сальникова Н. А., Сальников А. Л. Интегральный показатель эколого-биологического состояния нарушенных земель как объектов рекультивации // Естественные науки. 2016. № 1. С. 9–12.
- Кандашова К. А. Изменение эколого-биологических свойств почв юга России при переувлажнении: Дис. ... канд. биол. наук. Ростов н/Д, 2016. 142 с.
- Кандашова К. А., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Изменение биологических свойств чернозема обыкновенного при глеевом процессе (модельный опыт) // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 112. С. 707–717.
- Концевая И. И., Дайнеко Н. М., Минина А. В. Влияние микробного препарата АгроМик на агрономически полезные группы микроорганизмов почвы в посевах кукурузы // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. 2018. № 3. С. 49–54.
- Кутовая О. В., Гребенников А. М., Тхакахова А. К., Исаев В. А., Гармашов В. М., Беспалов В. А., Чевердин Ю. И., Белобров В. П. Изменение почвенно-биологических процессов и структуры микробного сообщества агрочерноземов при разных способах обработки почвы // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2018. № 92. С. 35–61.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии. / Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
- Мишустин Е. Н. Микроорганизмы и плодородие почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 342 с.
- Сальников А. Л., Сальникова Н. А., Синцов А. В., Валов М. В. Особенности системного подхода в экологическом мониторинге урбанизированных почв // Геология, география и глобальная энергия. 2018. № 1 (68). С. 109–119.
- Турусов В. И., Чевердин Ю. И., Титова Т. В., Беспалов В. А., Сапрыкин С. В., Гармашова Л. В., Чевердин А. Ю. Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств черноземных почв // Агрохимия. 2017. № 11. С. 3–12.
- Asadu C. L. A., Nwafor I. A., Chibuike G. U. Contributions of Microorganisms to Soil Fertility in Adjacent Forest, Fallow and Cultivated Land Use Types in Nsukka, Nigeria // International Journal of Agriculture and Forestry. 2015. Vol. 5. № 3. P. 199–204.
- Churkina G., Kunanbayev K., Akhmetova G. The taxonomic composition of soil microorganisms in the ecosystems of southern chernozems of Northern Kazakhstan // Applied Innovations and Technologies. 2012. Vol. 8. № 3. P. 13–19.
- Gadd G. M. Geomycology: biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi, bioweathering and bioremediation // Mycological research. 2007. Vol. 111. № 1. P. 3–49.
- Hagemann N., Harter J., Behrens S. Elucidating the Impacts of Biochar Applications on Nitrogen Cycling Microbial Communities // Biochar Application: Essential Soil Microbial Ecology. Elsevier Inc., 2016. P. 163–198. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803433-0.00006-0> (дата обращения: 21.06.2019).
- Hristeva Ts., Yanev M., Bozukov Hr., Kalinova Sht. Condition of soil microbial communities when exposed to some chloroacetamide herbicides // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2015. Vol. 21. № 4. P. 730–735.
- Singandhupe R. B., Rajput R. K. Ammonia volatilization from rice fields in alkaline soil as influenced by soil moisture and nitrogen // The Journal of Agricultural Science. 1989. Vol. 112. № 2. P. 185–190.
- Singh B. P., Hatton B. J., Singh B., Cowie A. L., Kathuria A. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils // J. of Environmental Quality. 2010. Vol. 39. № 4. P. 1224–1235.

- Sjogaard K. S., Valdemarsen T. B., Treusch A. H. Responses of an Agricultural Soil Microbiome to Flooding with Seawater after Managed Coastal Realignment // *Microorganisms*. 2018. Vol. 6 (1). № 12. URL: <https://doi.org/10.3390/microorganisms6010012> (дата обращения: 24.06.2019).
- Szegi J. Talajmikrobiológiai vizsgálati módszerek. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó, 1976. 311 p.
- Van Zwieten L., Kimber S., Morris S., Downie A., Berger E., Rust J., Scheer C. Influence of biochars on flux of N₂O and CO₂ from Ferrosol // *Austr. J. Soil. Res.* 2010. Vol. 48. P. 555–568.
- Wang J., Zhang M., Xiong Z., Liu P., Pan G. Effects of biochar addition on N₂O and CO₂ emissions from to paddy soils // *Biology and Fertility of Soils*. 2011. Vol. 47. P. 887–896.

SELECTION OF MICROBIOLOGICAL INDICATORS TO PERFORM AN INTEGRATED ECOLOGICAL-AND-BIOLOGICAL ASSESSMENT OF WATERLOGGED SOILS

KULAGINA
Valentina Ivanovna *Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, viksoil@mail.ru*

SUNGATULLINA
Lutsia Mansurovna *Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, sunlyc@yandex.ru*

TAGIROV
Ramis Marselevich *Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, ramis.tagirov@yandex.ru*

RYAZANOV
Stanislav Sergeevich *Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, erydit@yandex.ru*

KHISAMOVA
Alina Maratovna *Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, his.alina94@mail.ru*

Key words:
soil microorganisms
integrated indicator
waterlogging of soil
ecological-and-biological state
biological activity
micromycetes
bio-monitoring

Summary: Integrated ecological and biological indicator provides wide possibilities for assessment of anthropogenic impact on soils and bio-monitoring. Each type of anthropogenic impact is characterized by changes in certain sets of biological soil parameters. To calculate the integrated indicator, one should select the parameters that change statistically significantly under the influence of a particular adverse factor. The article presents the results of work on the identification of microbiological parameters most sensitive to water logging in soil. The research was performed using samples of leached chernozem and alluvial sod soils which were 3.5 months in controlled conditions of the model experiment on the effect of water logging on soils. Soil samples were kept in plastic containers in conditions of water logging, at optimal moisture content, with and without addition of sucrose solution. At the end of the experiment, the population of five ecological trophic groups of microorganisms was determined by seeding on solid nutrient media. The determination was carried out in triplicate. The statistical significance of the difference in the population of microorganism groups between flooded soils and soils with optimal humidity was determined. It was shown that water logging led to a reduction in population of the most studied microorganisms. It was established that according to their sensitivity to water logging and the processes of gleization, the microorganisms can be arranged in the following series in descending order: microscopic fungi, actinomycetes, amylolyticus, ammonifiers, and spores. The spore microorganisms are most resistant to water logging. Statistical analysis did not reveal a relationship between their population in alluvial soils and ox-redox potential. It was shown that the integrated indicator calculated taking into account the population of only the three most sensitive groups of microorganisms has a higher correlation coefficient with the soil ox-redox potential than that calculated taking into account all five groups.

Received on: 27 June 2019

Published on: 19 December 2019

References

Sjogaard K. S., Valdemarsen T. B., Treusch A. H. Responses of an Agricultural Soil Microbiome to Flooding with Seawater after Managed Coastal Realignment, *Microorganisms*. 2018. Vol. 6 (1). No. 12. URL:

- <https://doi.org/10.3390/microorganisms6010012> (data obrascheniya: 24.06.2019).
- Asadu C. L. A., Nwafor I. A., Chibuike G. U. Contributions of Microorganisms to Soil Fertility in Adjacent Forest, Fallow and Cultivated Land Use Types in Nsukka, Nigeria, *International Journal of Agriculture and Forestry*. 2015. Vol. 5. No. 3. P. 199–204.
- Churkina G., Kunanbayev K., Akhmetova G. The taxonomic composition of soil microorganisms in the ecosystems of southern chernozems of Northern Kazakhstan, *Applied Innovations and Technologies*. 2012. Vol. 8. No. 3. P. 13–19.
- Gadd G. M. Geomycology: biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi, bioweathering and bioremediation, *Mycological research*. 2007. Vol. 111. No. 1. P. 3–49.
- Gorobcova O. N. Hezeva F. V. Uligova T. S. Tembotov R. H. Ecological and geographical patterns of changes in the biological activity of automorphic soils of lowland and foothill territories of the northern macroslope of the Central Caucasus (within Kabardino-Balkaria), *Pochvovedenie*. 2015. No. 3. P. 347–359.
- Gridasova O. V. Verhovceva N. V. Procenko A. A. Procenko E. P. Savchenko L. A. Nevedrov N. P. Features of microbial successions in vegetative and long-term dynamics in the chernozems of the protected meadow steppe and black vapor, *Problemy agrohimii i ekologii*. 2015. No. 4. P. 37–44.
- Grigor'yan B. R. Kol'cova T. G. Sungatullina L. M. Guidelines for the assessment of the soil-ecological state of agricultural land for compliance with the requirements of organic farming. Kazan', 2014. 52 p.
- Hagemann N., Harter J., Behrens S. Elucidating the Impacts of Biochar Applications on Nitrogen Cycling Microbial Communities, *Biochar Application: Essential Soil Microbial Ecology*. Elsevier Inc., 2016. P. 163–198. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803433-0.00006-0> (data obrascheniya: 21.06.2019).
- Hristeva Ts., Yanev M., Bozukov Hr., Kalinova Sht. Condition of soil microbial communities when exposed to some chloroacetamide herbicides, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2015. Vol. 21. No. 4. P. 730–735.
- Kalinkina V. E. Sal'nikova N. A. Sal'nikov A. L. Integrated indicator of the ecological and biological state of disturbed lands as objects of reclamation, *Estestvennye nauki*. 2016. No. 1. P. 9–12.
- Kandashova K. A. Kazeev K. Sh. Kolesnikov S. I. Change in biological properties of ordinary chernozem during the gleying process (model experiment), *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. No. 112. P. 707–717.
- Kandashova K. A. Changes in the ecological and biological properties of soils in the south of Russia under waterlogging: *Dip. ... kand. biol. nauk. Rostov n/D*, 2016. 142 p.
- Kazeev K. Sh. Kolesnikov S. I. Val'kov V. F. Biological diagnostics and indication of soils: methodology and research methods. Rostov n/D: *Izd-vo RGU*, 2003. 216 p.
- Kazeev K. Sh. Kolesnikov S. I. Biodiagnostics of soils: methodology and research methods. Rostov n/D: *Izd-vo Yuzhnogo federal'nogo universiteta*, 2012. 260 p.
- Koncevaya I. I. Dayneko N. M. Minina A. V. The influence of the microbial preparation AgroMik on agro-economically useful groups of soil microorganisms in corn crops, *Izvestiya Gomeľ'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny*. 2018. No. 3. P. 49–54.
- Kutovaya O. V. Grebennikov A. M. Thakahova A. K. Isaev V. A. Garmashov V. M. Bepalov V. A. Cheverdin Yu. I. Belobrov V. P. Changes in soil-biological processes and the structure of the microbial community of agro-chernozems with different methods of tillage, *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva*. 2018. No. 92. P. 35–61.
- Methods of soil microbiology and biochemistry., *Pod red. D. G. Zvyaginceva. M.: Izd-vo MGU*, 1991. 304 p.
- Mishustin E. N. Microorganisms and soil fertility. M.: *Izd-vo AN SSSR*, 1956. 342 p.
- Sal'nikov A. L. Sal'nikova N. A. Sincov A. V. Valov M. V. Features of the system approach in environmental monitoring of urbanized soils, *Geologiya, geografiya i global'naya energiya*. 2018. No. 1 (68). P. 109–119.
- Singandhupe R. B., Rajput R. K. Ammonia volatilization from rice fields in alkaline soil as influenced by soil moisture and nitrogen, *The Journal of Agricultural Science*. 1989. Vol. 112. No. 2. P. 185–190.
- Singh B. P., Hatton B. J., Singh B., Cowie A. L., Kathuria A. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils, *J. of Environmental Quality*. 2010. Vol. 39. No. 4. R. 1224–1235.
- Szegi J. *Talajmikrobiológiai vizsgálati módszerek*. Budapest: *Mezőgazdasági Kiadó*, 1976. 311 p.
- Turusov V. I. Cheverdin Yu. I. Titova T. V. Bepalov V. A. Saprykin S. V. Garmashova L. V. Cheverdin A. Yu. Interrelation of microbiological parameters and physical properties of chernozem soils, *Agrohimiya*. 2017. No. 11. P. 3–12.
- Van Zwieten L., Kimber S., Morris S., Downie A., Berger E., Rust J., Scheer C. Influence of biochars on flux of N₂O and CO₂ from Ferrosol, *Austr. J. Soil. Res.* 2010. Vol. 48. R. 555–568.
- Wang J., Zhang M., Xiong Z., Liu P., Pan G. Effects of biochar addition on N₂O and CO₂ emissions from to paddy soils, *Biology and Fertility of Soils*. 2011. Vol. 47. R. 887–896.