

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПОЧВ

Еремченко О. З., Шестаков И. Е., Митракова Н. В.

*ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» Минобрнауки России, Пермь, Россия (614990), ул. Букирева, 15), e-mail: eremch@psu.ru*

Использование растений и микроорганизмов, а также показателей их активности может дать необходимые оперативные данные о нарушении биогеоценологических функций почв. Были испытаны методы тестирования с применением биологических показателей при оценке состояния почв и нарушения их функций в ландшафтах Пермского края. Высота и масса кресс-салата, каталазная активность и интенсивность «дыхания» (выделения углекислого газа) почв связаны с элементами почвенного плодородия – содержанием гумуса и величиной pH, а также с загрязнением почв тяжелыми металлами. Содержание  $H_2O_2$  в тест-культуре рассматривается как перспективный показатель в связи с нарушениями биогеоценологических функций, обусловленных физико-химическими и химическими свойствами почв. Продуцирование  $H_2O_2$  усилилось в растениях при выращивании на кислых почвах и при загрязнении почв тяжелыми металлами.

Ключевые слова: почвы, гумус, pH, тяжелые металлы, тестирование, состояние тест-культуры, продуцирование  $H_2O_2$ , каталазная активность, эмиссия  $CO_2$ .

## USE OF BIOLOGICAL PARAMETERS AT ESTIMATION BIOGEOCENOTIC FUNCTIONS OF SOILS

Eremchenko O. Z., Shestakov I. E., Mytrakova N. V.

*Perm state national research university, Bukireva, 15, 614990, Perm, Russia, e-mail: eremch@psu.ru*

Use of plants and microorganisms, and also parameters of their activity, can give the necessary operative data on infringement of biogeocenotic functions of soils. Methods of testing with application of biological parameters have been tested at an estimation of soils condition and infringements of their functions in landscapes of the Perm Region. The height and weight of cress catalase activity and intensity of soil «breath» (release of carbonic gas) are connected to elements of soil fertility – the contents of humus and pH, and also with pollution of soils by heavy metals. Contents of  $H_2O_2$  in test – culture is considered as a perspective parameter in connection with infringements biogeocenotic functions caused by physical and chemical and chemical properties of soils.  $H_2O_2$  producing has amplified in plants at cultivation on sour soils and at pollution of soils by heavy metals.

Keywords: soils, humus, pH, heavy metals, testing, test-culture conditions,  $H_2O_2$  producing, catalase activity,  $CO_2$  emission.

### Введение

Почвы – это базис всех наземных экосистем, от успешного выполнения ими биоценологических функций зависит состояние живых организмов и оптимизация параметров окружающей среды. Использование растений и микроорганизмов, а также показателей их активности может дать необходимые оперативные данные о воздействии комплекса неблагоприятных факторов, которые включают в себя не только токсичные элементы, содержащиеся в почве, но и изменения свойств и режимов, имеющих место в антропогенно-преобразованных почвах. Биологическое тестирование отражает степень нарушения биогеоценологических функций почв, существующую угрозу для биоты, связанную с антропогенной деятельностью [1, 3, 7, 8]. Выбор биологических показателей должен быть обоснован их информативностью и, по возможности, простотой определения.

## **Цель исследований**

Целью данной работы являлось обоснование применения некоторых биологических показателей при оценке нарушений биогеоценологических функций почв Пермского края. Исследуемые тесты включали высоту и массу растений тест-культуры – кресс-салата, содержание пероксида водорода в надземных органах растений, каталазную активность и «дыхание» (эмиссией углекислого газа) почвы. Их выбор обоснован следующим.

*Lepidium sativum* (кресс-салат) как тест-культура характеризуется быстрым ростом и почти стопроцентным прорастанием семян, он используется для исследования загрязненных почв [1].

Повышенное содержание пероксида водорода отражает нарушение процессов в растительных клетках, вызванное содержанием в почве поллютантов. Относительно долго живущий  $H_2O_2$ , в числе других активных форм кислорода (АФК), продуцируют мембранные белки, транспортирующие электроны. АФК имеют высокую реакционную способность и могут повреждать внутриклеточные компоненты. В настоящее время АФК рассматриваются не только как деструкторные молекулы, но и как важнейшие сигнальные молекулы в клеточной регуляции [2, 3, 5, 6].

Активность почвенных ферментов является устойчивым и чувствительным показателем экологического состояния почв, она складывается в результате совокупности процессов поступления, иммобилизации и действия ферментов в почве. Ферментативная активность отражает ранние стадии нарушения биологических процессов в почвах при загрязнении тяжелыми металлами [4, 8, 10]. Каталаза, как и другие ферменты, продуцируется живыми организмами; она широко представлена в клетках растений. Все микробы, кроме некоторых анаэробных, способны выделять в почвенную среду каталазу, разлагающую пероксид водорода на воду и кислород.

«Дыхание» почв – это процесс выделения углекислого газа почвой, связан прежде всего с ферментативным разрушением органических соединений – продуктов жизнедеятельности; рассматривается как показатель степени замкнутости биологического круговорота веществ в биогеоценозе.

## **Материалы и методы исследований**

Для биотестирования были взяты почвы из природно-сельскохозяйственных ландшафтов Пермского края, пробы из верхней и нижней части темногумусовых горизонтов чернозема и темно-серой почвы, из серогумусового и субэлювиального горизонтов серой почвы, из серогумусового и элювиального горизонтов дерново-подзолистой почвы, из переходного минерального горизонта псаммозема. Почвенные образцы загрязнили сульфатом кадмия из расчета Cd 500 мг/кг почвы, нитратом свинца из расчета Pb 1000 мг/кг

почвы. Свинец вносился в количестве, соответствующем высокому уровню загрязнения, отмеченному в техногенных ландшафтах Пермского края. Токсичность кадмия в 2–10 раз выше других тяжелых металлов, поэтому его дозу сократили в два раза относительно свинца.

Растения кресс-салата сорта Данский выращивали в небольших сосудах в течение 14 дней, после чего были измерены высота и масса растений, определено количество пероксида водорода по ферротитационному методу [5]. Каталазная активность установлена в воздушно-сухих образцах почв по Ф. Х. Хазиеву [8]. Дыхание оценивали по количеству углекислого газа, выделяемого почвой в течение 24 часов при температуре 28 °С и влажности в 60 % от полной влагоемкости адсорбционным методом по И. Н. Шаркову. Содержание органического углерода в почвах определено по Тюрину, солевое рН – потенциометрическим методом.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

Образцы почв существенно отличались содержанием гумуса, количество которого достигало максимальных величин в верхней части темно-гумусового горизонта чернозема (14 %), минимальных – в элювиальном горизонте дерново-подзолистой почвы и минеральном горизонте псаммозема (1–2 %). Величина  $pH_{\text{сол}}$  также варьировала – от сильно-кислой (3,6) в дерново-подзолистой почве и псаммоземе, до слабокислой (5,1) в черноземе.

Для оценки биохимической активности почв были использованы сведения по почвам г. Перми [9]. Каталазная активность темно-гумусовых горизонтов чернозема и темно-серой почвы превышает фоновые показатели для почв г. Перми; в гумусовом горизонте светло-серой почвы она находится на уровне фона и существенно ниже в субэлювиальном горизонте этой почвы, а также в пробах из дерново-подзолистой почвы и псаммозема.

Интенсивность «дыхания» оказалась повышенной только в верхней части темногумусового горизонта чернозема. Величину «дыхания» в пределах фона имели нижняя часть темногумусового горизонта этой почвы и верхняя часть этого горизонта темно-серой почвы. В пробах из серой и дерново-подзолистой почв, из псаммозема эмиссия углекислого газа была заметно ниже, чем в городских почвах.

Методами регрессионного анализа была установлена связь между исследуемыми биологическими показателями и элементами почвенного плодородия (табл. 1, 2). С содержанием гумуса связаны высота и масса тест-культуры. Более тесная связь прослежена с каталазной активностью и «дыханием», в соответствии с коэффициентом детерминации 60–70 % их изменчивости зависит от содержания гумуса в почвах. Все изучаемые показатели, кроме «дыхания», имеют связь с  $pH_{\text{сол}}$ . При этом, чем ниже кислотность (выше рН), тем больше высота и масса растений, активнее каталаза в почве (табл. 2). В почвах и

техногенных поверхностных образованиях г. Перми также установлена зависимость биохимической активности от содержания гумуса и кислотности [9].

Содержание пероксида водорода в растениях с ростом обменной кислотности почвы увеличивается; возможно, кислая почвенная среда влияет на катионно-анионное равновесие клеточных растворов, нарушает транспорт протонов и электронов через клеточные мембраны, вызывая сверхпродукцию АФК. Таким образом, испытываемые биологические показатели изменялись в связи с основными элементами почвенного плодородия – содержанием гумуса и обменной кислотностью.

Таблица 1

Зависимость между содержанием гумуса в почвах и биоиндикационными показателями

Показатель	Уравнение регрессии
Высота тест-культуры, мм	$y = 4,47 + 0,17 x$ ; $F = 3,37$ ; $p = 0,0119$ ; $R^2 = 0,32$
Сырая масса тест-культуры, мг	$y = 381 + 132 x$ ; $F = 9,26$ ; $p = 0,00015$ ; $R^2 = 0,57$
Содержание пероксида в тест культуре, мМ/г сырой массы	Нет
«Дыхание» почвы, $CO_2 / 100$ г почвы за 24 ч	$y = 8,88 + 1,51 x$ ; $F = 10,7$ ; $p = 0,000093$ ; $R^2 = 0,61$
Каталазная активность, $O_2$ см <sup>3</sup> / г почвы за 1 мин	$y = 0,603 + 0,397 x$ ; $F = 17$ ; $p = 0,000027$ ; $R^2 = 0,71$

Таблица 2

Зависимость между  $pH_{\text{сол}}$  почв и биоиндикационными показателями

Показатель	Уравнение регрессии
Высота тест-культуры, см	$y = 0,68 + 1,16 x$ ; $F = 7,39$ ; $p = 0,00036$ ; $R^2 = 0,51$
Сырая масса тест-культуры, мг	$y = -0,0029 + 963 x$ ; $F = 18,8$ ; $p = 0,000021$ ; $R^2 = 0,73$
Содержание пероксида в тест культуре, мМ/г сырой массы	$y = 0,0455 - 0,0072 x$ ; $F = 8,51$ ; $p = 0,0004$ ; $R^2 = 0,59$
«Дыхание» почвы, $CO_2 / 100$ г почвы за 24 ч	Нет
Каталазная активность, $O_2$ см <sup>3</sup> / г почвы за 1 мин	$y = 1,14 + 0,59 x$ ; $F = 6,51$ ; $p = 0,00061$ ; $R^2 = 0,48$

На вариантах с внесением в почвенные пробы солей свинца и кадмия произошло изменение состояния растений (табл. 3). Растения кресс-салата, выращенные на образцах из верхней части темногумусового горизонта чернозема, загрязненных солью свинца и кадмия,

не отличались по росту и массе от контрольных растений. Известно, что в плодородных почвах токсическое действие тяжелых металлов снижается благодаря сбалансированному питанию растений, а также связыванию поллютантов органо-минеральными коллоидами. На темно-серой и серой почвах также не проявилось токсическое действие нитрата свинца; однако соль кадмия обладает более высокой токсичностью, на ее фоне достоверно понижены рост и масса растений. На образцах из серогумусового горизонта низкоплодородной дерново-подзолистой почвы масса растений при внесении соли свинца и кадмия снизилась в 3 и 12 раз соответственно. На пробах из минерального горизонта псаммозема при общих низких показателях роста и массы растений действие нитрата свинца было не достоверным, а на фоне соли кадмия растения не развивались.

Содержание пероксида водорода в наземных органах растений оказалась более информативным показателем, чем рост и масса растений. Генерация этой АФК усилена в растениях кресс-салата, выращенных на загрязненных почвах вне зависимости от их плодородия, даже при отсутствии изменений в показателях роста и массы (табл. 3).

Снижение каталазной активности почв произошло на вариантах загрязнения сульфатом кадмия. Несмотря на высокую дозу нитрата свинца, угнетение каталазной активности отмечено только в темно-серой почве, что, возможно, связано с положительным действием анионной части соли. На образцах псаммозема при очень низкой каталазной активности тяжелые металлы не изменили этот показатель.

«Дыхание» почв оказалось более стабильной величиной по сравнению с каталазной активностью, соль свинца не угнетала общую активность минерализационных процессов. Внесение сульфата кадмия достоверно снизило эмиссию углекислого газа из чернозема и дерново-подзолистой почвы.

В соответствии с данными по тестированию можно утверждать, что нитрат свинца из расчета Pb 1000 мг/кг почвы почти не нарушил биологические функции гумусовых горизонтов чернозема и серых почв. В серогумусовом горизонте дерново-подзолистой почвы на фоне свинца существенно ухудшилось состояние тест-культуры, хотя биохимические показатели почвы, обусловленные преимущественно микроорганизмами, при этом не пострадали по сравнению с контролем. Внесение сульфата кадмия из расчета Cd 500 мг/кг почвы привело к нарушению биологических функций почв, что отразилось в ухудшении состояния тест-культуры, каталазной активности и «дыхания» почв.

## Изменение биологических показателей при загрязнении почвенных проб солями свинца и кадмия

Почва	Вариант опыта	Высота растений, см	Масса растений, мг	Содержание $H_2O_2$ , мМ/г сырой массы	Активность каталазы, $O_2$ см <sup>3</sup> / г почвы за 1 мин	Интенсивность «дыхания», $CO_2$ / 100 г почвы за 24 ч
Чернозем	Контроль	6,9	1950	0,0137	6,3	30,8
	Pb 1000 мг/кг	7,5	2260	0,0235*	6,2	29,2
	Cd 500 мг/кг	5,9	1412	0,0145	4,6*	26,1*
Темно-серая почва	Контроль	4,8	1337	0,0101	4,5	27,6
	Pb 1000 мг/кг	6,2	1125	0,0180*	3,5*	33,3
	Cd 500 мг/кг	3,9*	687*	0,0161*	3,4*	21,7
Серая почва	Контроль	5,6	1180	0,0150	3,8	14,1
	Pb 1000 мг/кг	5,6	1047	0,0196*	3,6	13,5
	Cd 500 мг/кг	2,6*	373*	0,0595*	2,9*	13,8
Дерново-подзолистая почва	Контроль	5,9	1002	0,0191	1,9	24,2
	Pb 1000 мг/кг	4,7	319*	0,0308*	1,9	29,3
	Cd 500 мг/кг	1,6*	78*	-	1,5*	21,2*
Псаммозем	Контроль	4,2	303	-	1,6	11,7
	Pb 1000 мг/кг	3,4	332	-	1,6	10,6
	Cd 500 мг/кг	-	-	-	2,0	10,1

Примечание: \* – достоверные отличия от контрольной величины.

Реакция псаммозема оказалась особенной, на фоне самой низкой биохимической активности отрицательного воздействия тяжелых металлов не установлено; одновременно растения на фоне кадмия не развивались.

### **Заключение**

Испытанные методы тестирования с применением биологических показателей рекомендуем использовать при оценке состояния почв и нарушения их биогеоценологических функций в природно-техногенных ландшафтах Пермского края. Развитие кресс-салата, каталазная активность и интенсивность «дыхания» почв в разной степени отражают изменения в содержании гумуса и рН, загрязнение почв тяжелыми металлами, поэтому следует использовать их комплексно. Содержание пероксида водорода в тест-культуре рассматриваем как перспективный показатель в связи с нарушениями биогеоценологических функций, обусловленных физико-химическими и химическими свойствами почв.

### **Список литературы**

1. Багдасарян А. С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Ставрополь, 2005. – 24 с.
2. Деви С. Р., Прасед М. Н. Антиоксидантная активность растений *Brassica juncea*, подвергнутых действию высоких концентраций меди // Физиология растений. – 2005. – Т. 52. – С. 233-238.
3. Духовский П., Юкнис Р., Бразайтите А., Жукаускайте И. Реакция растений на комплексное воздействие природных и антропогенных стрессоров // Физиология растений. – 2003. – Т.50, № 2. – С. 165-173.
4. Колесников С. И., Казеев К. Ш., Вальков В. Ф. Биоэкологические принципы мониторинга и нормирования загрязнения почв. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2001. – 64 с.
5. Лукаткин А. С. Вклад окислительного стресса в развитие холодового повреждения в листьях теплолюбивых растений // Физиология растений. – 2002. – Т. 49, № 6. – С. 878-885.
6. Прадедова Е. В., Ишеева О. Д., Саляев Р. К. Классификация системы антиоксидантной защиты как основа рациональной организации экспериментального исследования окислительного стресса у растений // Физиология растений. – 2011. – Т. 58, № 2. – С. 177-185.
7. Почва. Город. Экология / Под ред. Г. В. Добровольского. – М., 1997. – 320 с.
8. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. – М.: Наука, 1990. – 189 с.
9. Шестаков И. Е. Экологическое состояние почвенного покрова г. Перми: автореф. дис. ...

канд. биол. наук. – Пермь, 2012. – 24 с.

10. Kizilkaya R., Askin T. The Spatial Variability of Soil Dehydrogenase Activity: A Survey in Urban Soils. – Agric. conspec. sci. – Vol. 72 (2007). – №. 1.

**Рецензенты:**

Наумов Владимир Александрович, доктор геолого-минералогических наук, директор Естественнонаучного института при ФГБОУ ВПО Пермский государственный национальный исследовательский университет Минобрнауки России, г. Пермь.

Назаров Николай Николаевич, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой физической географии и ландшафтной экологии, ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» Минобрнауки России, г. Пермь.