

УДК 57.044; 504.05; 631.46

## БИОДИАГНОСТИКА ДЕГРАДАЦИИ ЧЕРНОЗЕМА ПРИ РАЗВИТИИ ПРОЦЕССОВ ГИДРОМОРФИЗМА (В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ)

© 2016 К.А. Кандашова, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Статья поступила в редакцию 23.05.2016

Представлены результаты лабораторного эксперимента по моделированию деградационных процессов на фоне переувлажнения и их влиянию на эколого-биологические свойства чернозема. Проведена сравнительная оценка биологической активности чернозема обыкновенного при оглеении, засолении, закислении и осолодении на основании определения ферментативной активности и состояния микробных сообществ. В результате ряда модельных экспериментов было выявлено, что процесс глееобразования стимулирует общую численность бактерий и подавляет мицелиарные организмы. Существенно понижается активность оксидоредуктаз и повышает активность гидролаз. Основная тенденция связана с выраженным ингибированием ферментативной активности при моделировании засоления, осолодения и закисления. Отмечена высокая чувствительность отдельных групп микроорганизмов к различным воздействиям. Развитие деградационных процессов при усилении гидроморфизма обуславливает радикальное изменение эколого-биологических свойств чернозема.

**Ключевые слова:** переувлажнение, оглеение, модельный опыт, закисление, засоление, осолодение, эколого-биологические свойства почв, микрофлора, ферментативная активность

Переувлажнение является одним из главных экологических факторов, оказывающих влияние на эколого-биологические свойства почв. Экологически нерациональное использование и сильные антропогенные воздействия на почвенный покров, превышающие пределы его природной саморегуляции, способствуют развитию деградации почв. Это одна из актуальнейших проблем современного человечества. Существенной составляющей общего решения этой проблемы для условий Юга России является исследование естественных и антропогенных процессов и факторов эволюции, функционирования и формирования агроландшафтов [7]. В целях устойчивого развития сельского хозяйства необходимо краткосрочное и особенно долгосрочное прогнозирование деградационных процессов и оценка риска воздействий антропогенного характера на почву и другие компоненты природных ландшафтов и агроландшафтов.

В последнее время в Ростовской области и на Юге России происходит существенное увеличение площади гидроморфных почв [7, 11, 12]. Эти почвы помимо временного переувлажнения подвержены и сопутствующим процессам: оглеению, уплотнению, слитизации и засолению. Наибольший интерес вызывает деградация черноземов, обладающих значительной буферностью свойств и высоким уровнем плодородия. Автоморфные черноземы на данный момент подвергаются интенсивному переувлажнению, не соответствующему экологии этих почв, приобретают признаки гидроморфизма, что и приводит к их деградации.

**Цель исследования:** изучение влияния гидроморфизма и сопутствующих деградационных процессов на эколого-биологические показатели чернозема с использованием лабораторного моделирования.

*Кандашова Карина Андреевна, аспирантка. E-mail: salmanovakarina@mail.ru*

*Казеев Камил Шигидулович, доктор географических наук, профессор кафедры экологии и природопользования. E-mail: kamil\_kazeev@mail.ru*

*Колесников Сергей Ильич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования. E-mail: kolesnikov@sfned.ru*

**Объекты и методы исследований.** Для лабораторного моделирования деградационных процессов на фоне переувлажнения и их влияния на эколого-биологические свойства был выбран чернозем обыкновенный карбонатный южно-европейской фации среднеспособный малогумусный на желто-бурых лессовидных суглинках. Отбор почвы производился на территории Ботанического сада ЮФУ. Для постановки эксперимента по изучению деградационных процессов в условиях лабораторного эксперимента были отобраны образцы почвы, массой более 10 кг. Затем образцы высушивались до воздушно-сухого состояния, размельчались и просеивались с использованием сита с диаметром пор 3 мм. Затем из гомогенного почвенного материала отобраны множественную пробу массой 400 г путем размещения почвы тонким слоем на плоской поверхности и разделения. Для постановки опыта были подобраны специальные условия и сконструированы пластиковые сосуды (минилизиметры). На дно сосудов были установлены синтетические фильтры и дренаж. Исследования эколого-биологических показателей проводили на 100 сутки от начала эксперимента. Каждый из процессов диагностировался по морфологическим показателям (окраска, структура) и контролировался измерением pH, количества солей и карбонатов, концентрации гумуса, объема лизиметрических вод. Схема лабораторного моделирования:

### 1. Моделирование оглеения:

- застойный режим с использованием воды;
- оптимальное увлажнение + 1% р-р сахарозы;
- застойный режим + 1% раствор сахарозы.

### 2. Моделирование осолодения:

- застойно-промывной режим с использованием воды;
- застойно-промывной режим с использованием 0,1N раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

### 3. Моделирование закисления почв:

- застойно-промывной режим с использованием воды;
- застойно-промывной режим с использованием 0,1 N раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;

### 4. Моделирование образования солончаков.

- выпотной режим с использованием 1% раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$ ;

- выпотной режим с использованием воды.

Контролем для всех моделируемых процессов служил чернозем с оптимальным увлажнением. Сброс лизиметрических вод в вариантах опыта с застойно-промывным водным режимом производили один раз в неделю через отверстие в нижней части минилизиметра. После сброса лизиметрических вод образцы оставляли на 1 сутки для высушивания. После аэрации образцы снова заливали раствором. Варианты опыта с застойным режимом размещали в сосудах с глухо закрытыми пробками. Также в сосуды были помещены стеклянные трубки для удаления воздуха. Сброс лизиметрических вод на фоне застойного режима провели в конце эксперимента.

Используемые в настоящей работе аналитические данные были получены с помощью разработанной и апробированной методологии исследования биологической активности почв [3, 9, 10, 15] с использованием общепринятых в биологии, экологии и почвоведении методов. Численность бактерий, актиномицетов и микроскопических грибов учитывали методом посева почвенной суспензии на плотные питательные среды. Использовали свежие образцы почв. На МПА (мясо-пептонный агар) выделяли бактерии, использующие органический азот, на КАА (крахмало-аммиачный агар) — бактерии, использующие минеральный азот (бактерии-нитрификаторы), и актиномицеты. Численность грибов и сахаролитических бактерий учитывали на кислой среде Чапека. Все данные представлены в пересчете на массу воздушно-сухой почвы. Повторность 3-х кратная. рН почвы определяли в почвенной суспензии (почва/вода в соотношении 1/2,5) потенциометрически на иономере. Количество легкорастворимых солей определяли кондуктометрическим методом.

Концентрацию оксида железа (II) определяли фотометрическим методом с использованием фенантралина. Валовое содержание оксидов металлов и неметаллов определяли рентгенфлуоресцентным методом на приборе «Спектроскан Макс-GV». Общая численность бактерий, одноклеточных водорослей и длины грибного мицелия определялись люминесцентно-микроскопическим методом на микроскопе Микмед 2, окрашиванием бактерий акридином оранжевым, а грибного мицелия — калькофлуором белым. Повторность опыта — 4-6-кратная. О ферментативной активности почв судили по активности ферментов разных классов: оксидоредуктаз - каталаза, дегидрогеназа и гидролаз -  $\beta$ -фруктофуранозидаса (фосфатаза). Повторность опыта 4-6 кратная. Содержание гумуса определяли по его окисляемости хромовой смесью [14].

**Результаты и их обсуждение.** При исследовании физико-химических характеристик установлено, что величина показателя рН варьировала в пределах от 6,2 в варианте с моделированием закисления до 9,6 в варианте с осолодением. В контрольном варианте чернозема с оптимальным увлажнением этот показатель составлял 8,2. В остальных вариантах реакция среды незначительно отличался от контроля. Концентрация легкорастворимых солей варьировала в пределах от 0,05 до 0,86%, причем максимальный показатель наблюдался при исследовании вариантов с моделированием образования солончаков. Количество карбонатов составило в среднем 0,9%, в то время как в варианте с осолодением карбонатность бала минимальна – 0,1%, а при исследовании модели с закислением карбонаты не

были обнаружены.

Концентрация гумуса повышалась при затоплении и оглеении, и незначительно понижалась при закислении, осолодении и засолении. Также наблюдалась высокая концентрация оксида железа (II) в вариантах с оглеением, которая составляла 1800 мг/100 г почвы, что в 15 раз превышало концентрацию оксида железа (II) в контрольном варианте. При исследовании элементного состава рентгенфлуоресцентным методом на приборе «Спектроскан Макс-GV» были получены следующие результаты (табл. 1). Изменение элементного состава чернозема обыкновенного при моделировании деградационных процессов проявляется весьма незначительно. Происходит уменьшение доли оксида марганца в варианте с закислением (740,2 мг/кг) и сочетанным воздействием затопления и сахарозы – (797,4 мг/кг) по сравнению с контрольным вариантом. В целом существенных систематических изменений валового состава относительно контрольного образца не обнаружено, так как существенного выноса элементов в отведенный промежуток времени не происходило.

Данные об изменении численности различных микробных сообществ при моделировании деградационных процессов на фоне переувлажнения представлены в табл. 2. Максимальная численность бактерий, культивируемых на среде МПА, отмечена в варианте с сочетанным воздействием сахарозы и затопления - 172 млн./г. Закисление, осолодение и застойно-промывной режим значительно не подавляют численность бактерий. Минимальное количество бактерий наблюдалось в солончаке и составляло 17 млн./г. При исследовании обилия микромицетов установлено их ингибирование при осолодении, оглеении, застойно-промывном режиме и затоплении. Наиболее губительное воздействие на мицеллярные формы оказало оглеение с минимумом численности 1 тыс./г. В данном случае наблюдалась обратная корреляция между бактериями и грибами. Актиномицеты и амилотитики приурочены к более низким показателям влажности (27%), именно поэтому их численность подавляет затопление. Полное отсутствие актиномицетов отмечено при моделировании процесса оглеения.

Численность сахаролитических бактерий стимулирует сахара в сочетании с оптимальным увлажнением – 0,4 млн./г. Затопление и хлоридно-сульфатное засоление не оказывает на них существенного влияния. В свою очередь, сахаролитики полностью отсутствуют в вариантах с осолодением и закислением черноземов. Обилие азотфиксаторов значительно подавляется только при моделировании закисления с минимумом численности 28%. Во всех остальных вариантах эксперимента обилие бактерий *p. Azotobacter* не изменялось. При помощи таких показателей как общая численность бактерий и одноклеточных водорослей, определенных методом люминесцентной микроскопии, удалось диагностировать негативное воздействие осолодения, засоления и закисления. Наименьшая численность бактерий наблюдалась в варианте с осолодением и составляла 8 млрд./г. В то время как добавление сахарозы как в сочетании с оптимальным увлажнением, так и при затоплении стимулировало бактериальную флору. Общее число водорослей варьировало от 11 тыс./г при оптимальном увлажнении и затоплении до 2 тыс./г при закислении, осолодении и засолении. Длина грибного мицелия варьировала от 0,001 км/г почвы в варианте с осолодением и засолением до 0,017 км/г почвы при оптимальном увлажнении.

При определении ферментативной активности были получены следующие результаты (табл. 3). Ингибирование активности каталазы происходит при исследовании процессов затопления, закисления, осолодения и оглеения. Максимальная активность каталазы наблюдалась в варианте с оптимальным увлажнением

и добавлением сахарозы и составляла 8,1 мл  $O_2$ /г/мин. В контрольном варианте этот показатель составлял 6,7 мл  $O_2$ /г/мин. Наибольшее снижение активности каталазы произошло при моделировании осолодения – 0,9 мл  $O_2$ /г/мин.

**Таблица 1.** Содержание оксидов металлов и неметаллов в гидроморфных черноземах при моделировании различных процессов

Вариант	TiO <sub>2</sub> %	MnO мг/кг	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	SiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %	MgO %
Контроль	0,8	815,4	4,6	1,8	11,5	66,0	0,1	2,1	1,3
Застойный режим	0,9	807,9	4,7	1,8	11,6	66,4	0,2	2,1	1,3
Оптимальное увлажнение + 1% сахароза	0,8	840,1	4,6	1,9	11,4	66,0	0,2	2,1	1,3
Застойный режим + 1% сахара-роза	0,8	797,4	4,6	1,7	11,5	66,5	0,2	2,1	1,2
Застойно-промывной режим	0,8	822,6	4,6	1,9	11,5	65,9	0,1	2,1	1,3
Застойно-промывной режим + 0,1 Н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,8	858,5	4,6	2,1	11,2	66,2	0,2	2,0	1,3
Застойно-промывной режим + 0,1 Н H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,8	740,2	4,6	1,7	11,4	66,4	0,2	2,0	1,3
Выпотной режим	0,8	791,1	4,6	1,9	11,4	66,1	0,1	2,1	1,3
Выпотной режим + 1% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + NaCl	0,8	820,7	4,5	1,8	11,2	66,8	0,1	2,0	1,2

**Таблица 2.** Микробиологические характеристики гидроморфных черноземов

Вариант	Бакте-рии, млн/г	Мик-роми-цеты, тыс/г	Акти-номи-ми-цеты, тыс/г	Ами-лоли-тики, млн/г	Саха-роли-тики, млн/г	Азот-фик-саторы, %	Общая числен-ность бакте-рий, млрд/г	Водорос-ли, тыс/г
моделирование глеевого процесса								
Контроль	34	44	5	0,3	0,2	100	17	11
Застойный режим	47	6	1	0,2	0,3	100	11	11
Оптимальное увлажнение + 1% сахароза	23	27	3	0,4	0,4	100	18	9
Застойный режим + 1% сахароза	172	1	0	0,3	0,3	100	23	11
моделирование осолодения								
Застойно-промывной режим	35	5	7	0,4	0,2	100	15	7
Застойно-промывной режим + 0,1 Н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	85	16	2	0,4	0	100	8	2
моделирование закисления								
Застойно-промывной режим + 0,1 Н H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	73	33	10	0,4	0	28	9	2
моделирование образования солончаков								
Выпотной режим	23	171	6	0,4	0,3	100	16	7
Выпотной режим + 1% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + NaCl	17	31	4	0,3	0,3	100	10	2

**Таблица 3.** Ферментативная активность гидроморфных черноземов

Вариант	Каталаза, мл $O_2$ /г/мин	Дегидрогеназа, мг ТТФ/г/24 ч	Фосфатаза, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /г/ч
моделирование глеевого процесса			
Контроль	6,7	22,8	0,38
Застойный режим	3,1	24,2	0,41
Оптимальное увлажнение + 1% сахара-роза	8,1	88,8	0,37
Застойный режим + 1% сахароза	2,8	17,6	0,45
моделирование осолодения			
Застойно-промывной режим	5,1	31,3	0,40
Застойно-промывной режим + 0,1 Н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2,9	9,6	0,15
моделирование подкисления			
Застойно-промывной режим + 0,1 Н H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,9	10,1	0,07
моделирование образования солончаков			
Выпотной режим	6,5	20,8	0,31
Выпотной режим + 1% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + NaCl	6,4	18,8	0

При исследовании активности дегидрогеназы наметилась похожая тенденция: ее максимальная активность наблюдалась в варианте с сочетанным воздействием оптимального увлажнения и сахарозы – 88,8 мг ТТФ/г/24 ч, а минимальная – при моделировании осолодения и закисления. Эти процессы более, чем в 2 раза подавляли активность дегидрогеназы по сравнению с контролем. Активность фосфатазы ингибируется засолением, задкислением и осолодением. Если при процессе закисления и осолодения наблюдалось значительное снижение активности фосфатазы, то при моделировании солончаков активность была нулевой. Активность фосфатазы повышается в вариантах с застоем влаги. Максимум активности – 0,45 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/г/ч – отмечен в варианте с оглеением.

**Выводы:** чернозем обыкновенный существенно отличается от автоморфного. Это отражается в физико-химических и эколого-биологических изменениях. Оглеение значительно повышает общую численность бактерий, которые выступают дублерами микромицетов и актиномицетов. Степень гидроморфизма в сочетании с развитием глеевых процессов оказывает влияние на ферментативную активность за счет развития восстановительных условий, при которых ингибируется активность каталазы и дегидрогеназы. Происходит увеличение активности фосфатазы, что объясняется высокой интенсивностью протекания биогенных процессов. Происходит огромное накопление закисных форм железа. Осолодение подавляет общую численность водорослей, сахаролитических бактерий и мицелиарную флору, ингибирует ферментативную активность. Происходит сдвиг реакции среды в щелочную сторону, снижается гумусированность и карбонатность. Моделирование закисления приводит к снижению численности водорослей, сахаролитических бактерий и азотфиксаторов с одновременным негативным воздействием на ферментативную активность. Происходит сдвиг реакции среды в кислую сторону, снижается гумусированность и исчезают карбонаты. Моделирование хлоридно-сульфатного приводит к снижению всех исследуемых показателей в разной степени. Наиболее информативные – активность фосфатазы, длина грибного мицелия и численность одноклеточных водорослей. Происходит накопление большого количества солей и снижение содержания гумуса. Моделирование и развитие деградационных процессов на фоне переувлажнения оказывает большее влияние на почву, чем разные режимы и условия увлажнения. Хорошо зарекомендовали себя не только ферментативные

показатели, но и некоторые группы микроорганизмов и их численность. Можно прогнозировать, что для черноземов при усилении гидроморфности неизбежно развитие сопутствующих деградационных процессов, что приводит к эволюции их в сторону почв, принципиально отличающихся от автоморфных с радикальным изменением эколого-биологических свойств.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки РФ (6.345.2014/К) и государственной поддержке ведущей научной школы РФ (НШ-9072.2016.11).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бабьева, И.П. Биология почв / И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – М.: МГУ, 1989. 336 с.
2. Вальков, В.Ф. Изменение минеральной части южного чернозема при глеевом процессе (модельный опыт) / В.Ф. Вальков, О.Г. Уманская (Назаренко) // Почвоведение. 1982. № 7. С. 99-106.
3. Галстян, А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. – Ереван: Айастан, 1974. 275 с.
4. Давыдова, И.Ю. Трансформация Eh-pH состояния чернозема в связи с техногенным глееобразованием // Вестник Рязанского гос. университета, 2005. С. 91-100.
5. Зайдельман, Ф.Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв. – М.: Изд-во МГУ, 1998. 300 с.
6. Зайдельман, Ф.Р. Теория образования светлых кислых элювиальных горизонтов почв и ее прикладные аспекты. – М.: КРАСНАД, 2010. 248 с.
7. Казеев, К.Ш. Биология почв Юга России / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, А.Ф. Вальков. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2004. 350 с.
8. Казеев, К.Ш. Влияние переувлажнения на биоту и свойства почв Юга России / К.Ш. Казеев, В.И. Стрелкова, С.А. Тищенко. – Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2006. 143 с.
9. Казеев, К.Ш. Биодиагностика почв: методология и методы исследований / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2012. 204 с.
10. Методы почвенной микробиологии и биохимии. Под ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
11. Назаренко, О.Г. Современные процессы развития локальных гидроморфных комплексов в степных агроландшафтах. Автореф. дис. ... д.б.н. – М., 2002. 46 с.
12. Николаева, С.А. Трансформация соединений железа в черноземах в условиях повышенной увлажненности почв / С.А. Николаева, А.М. Еремина // Почвоведение. 2001. № 8. С. 963-969.
13. Орлов, Д.С. Углеводы в почвах / В.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Ю.Н. Садовников // Агрохимия. 1975. № 3. С. 139-152.
14. Тюрин, И.В. Органическое вещество и его роль в почвообразовании и плодородии. – М.-Л., 1937. 287 с.
15. Хазиев, Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. – М.: Наука, 1990. 189 с.

#### BIODIAGNOSTICS OF CHERNOZEM DEGRADATION AT DEVELOPMENT THE HYDROMORPHISM PROCESSES (IN MODEL EXPERIMENT)

© 2016 K.A. Kandashova, K.Sh. Kazeev, S. I. Kolesnikov  
Southern Federal University, Rostov-on-Don

Results of laboratory experiment on modeling the degradation processes against remoistening and to their influence on ecological and biological properties of chernozem are presented. The comparative assessment of chernozem ordinary biological activity at gleyisation, acidification, salinization and solodization on the basis of determination the enzymatic activity and state of microbic communities is carried out. As a result of some model experiments it has been revealed that process of gleyisation stimulates the total number of bacteria and suppresses micellar organisms. Significantly activity of oxidoreductase goes down and the hydrolase increases activity. The main tendency is connected with the expressed inhibition of enzymatic activity when modeling acidification, salinization and solodization. High sensitivity of separate groups of microorganisms to various influences is noted. Development the degradation processes when strengthening a hydromorphism causes radical change of ecological and biological properties of chernozem.

Key words: *remoistening, gleyisation, model experiment, acidification, salinization, solodization, ecological and biological properties of soils, microbial community, enzymatic activity*

Karina Kandashova, Post-graduate Student. E-mail: salmanova-karina@mail.ru; Kamil Kazeev, Doctor of geography, Professor at the Department of Ecology and Nature Management. E-mail: kamil\_kazeev@mail.ru; Sergey Kolesnikov, Doctor of Agriculture, Professor, Head of the Department of Ecology and Nature Management. E-mail: kolesnikov@srfedu.ru