

УДК 631.95:579.64

Влияние изменения физико-химических и агрохимических показателей чернозёма в ходе его техногенного нарушения на урожайность горчицы белой и уреазную активность почвы

Титова Вера Ивановна, Шахов Сергей Сергеевич, Сеньчева Елена Васильевна
ФГБОУ ВО Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

Аннотация

Были смоделированы и изучены техногенно нарушенные почвы на основе оподзоленного чернозема. Показано, что при нарушении почв происходит уменьшение содержания в них основных элементов питания и ухудшение физико-химических свойств. Найдены коэффициенты корреляции, демонстрирующие зависимость продуктивности горчицы белой, высеваемой на биологическом этапе рекультивации нарушенной почвы, от вышеперечисленных факторов.

Ключевые слова: техногенно нарушенные почвы, черноземы, продуктивность, корреляция.

Influence of changes in the physico-chemical and agrochemical indicators of chernozem soil during its anthropogenic disturbance on the yield of white mustard and urease activity of soil

Vera Ivanovna Titova, Sergey Sergeevich Shahov, Elena Vasilyevna Sencheva

Annotation

Technogenically disturbed soils on the basis of podzolized chernozem were modeled and studied. It is shown that disturbance of the soil leads to decreasing content of major nutrients and the deterioration of physical and chemical properties. We found the coefficients of correlation, showing the dependence of the productivity of white mustard, which were seeded at the biological stage of reclamation of disturbed soil, on the above factors.

Keywords: technogenically disturbed soil, chernozem soil, productivity, correlation.

Введение

Проблема растущего числа площадей в различной степени деградированных и выведенных из оборота, в том числе нарушенных и техногенно трансформированных земель сельскохозяйственного назначения – одна из наиболее насущных для агропромышленного комплекса РФ. Примерами активного вмешательства отрицательной антропогенной деятельности в эволюцию почв агроландшафтов можно назвать последствия, возникающие при строительстве различных объектов инфраструктуры, в первую очередь, дорог и трубопроводов. Значительная часть их пролегает по территории земель сельскохозяйственного назначения [4, 8], главным следствием чего является

механическое нарушение почвенного покрова и ухудшение его агрономических характеристик в зоне воздействия [1].

С научно-практической точки зрения считается [1-3], что использование сельскохозяйственных земель для проведения строительных и ремонтных работ сопровождается появлением двух серьезных проблем, а именно: временным выведением площадей из культурного оборота и их перевода в состояние залежи, а также коренным преобразованием почвенного профиля в виде механического нарушения его сложения, несвойственного естественно-антропогенному генезису зональных пахотных почв. Обе эти проблемы появляются в результате очень длительного использования отдельных, как правило, линейных участков, под прокладку трубопроводов.

Решение данных проблем актуально с научной и хозяйственной сторон, поскольку земли, отчуждаемые у сельхозтоваропроизводителя под строительство и (или) ремонт объектов инфраструктуры, в течение длительного времени либо совсем не приносят ему прибыли, либо не окупают вкладываемых затрат, так как при выводе пашни из севооборотов зачастую происходит резкая деградация ее агрономически значимых свойств и режимов. Причем пребывание земель как в состоянии залежи, так и в состоянии полного техногенного преобразования, требует в дальнейшем больших затрат на восстановление и повышение их плодородного статуса до минимального уровня, приближенного к потенциалу естественных почвенных разностей данной почвенно-климатической зоны.

Усугубляет положение факт вывода огромных массивов плодородных земель из севооборотов на крайне длительный срок и отсутствие использования их в хозяйственных целях, благодаря чему львиная доля необрабатываемых постагрогенных территорий по ряду признаков начинает приближаться к аналогичным целинным почвам с явным проявлением процессов деградации [10]. В подобных случаях о сохранении целостности верхнего слоя почвы и его естественного плодородия зачастую беспокоятся в последнюю очередь. Однако, числясь как земли аграрного сектора, эти территории обязаны обладать должным для ведения на них сельскохозяйственной деятельности уровнем качества, превалирующим и определяющим из которых является уровень плодородия.

Почвоподобные формы, образующиеся в местах строительства и ремонта объектов инфраструктуры, как правило, характеризуются неблагоприятными водно-воздушными и питательными свойствами, поскольку в процессе восстановительных работ новообразованная почва состоит из грубо перемешанных слоев пахотного и подпахотных горизонтов, неминуемо деградируемой во времени.

Ежегодно площадь механически нарушенных земель только в Нижегородской области может достигать 15-17 тыс. га, что составляет около 2 % обрабатываемых сельскохозяйственных угодий. Если же учесть, что ремонтные работы на линейных сооружениях проводятся с определенной периодичностью и постоянно (как того требуют правила эксплуатации линейных сооружений), то подобную ситуацию нельзя не признать проблемой, требующей незамедлительного поиска вариантов по оценке уровня антропогенного пресса на

почвенный покров и возвращению нарушенных агроэкосистем в активное сельскохозяйственное использование [4].

Таким образом, на сегодняшний день проблема изучения степени нарушенности техногенно трансформированных земель стоит особенно остро, поскольку процессы деградации почвенного покрова, вызванные антропогенными факторами, приобретают тенденции к нарастанию.

Цель работы

Изучение влияния механического нарушения чернозёма оподзоленного среднесуглинистого на изменение его агрохимических и физико-химических показателей, а также продуктивности.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось с мая по конец августа 2014 года. Объектом изучения был выбран чернозём оподзоленный обычный среднемощный среднегумусный среднесуглинистый, сформированный на лессовидных суглинках. Для моделирования механически нарушенной почвы в опыте используются пахотный и подпахотный горизонты исходной, которые были смешаны между собой в пропорциях: 1:1 и 1:2 соответственно. Такой баланс горизонтов отвечает задачам исследования и изменениям, происходящим в почве при нарушении её целостности и смешивании генетических горизонтов в практике ведения сельского хозяйства [3]. За контроль был взят пахотный слой естественной ненарушенной почвы (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание и условное обозначение вариантов опыта

№ п/п	Содержание	Условное обозначение
1	Пахотный слой почвы, 0-28 см	Контроль
2	Модель нарушенной почвы в соотношении одна часть слоя 0 - 28 см, одна часть слоя 29 - 100 см	1 : 1
3	Модель нарушенной почвы в соотношении одна часть слоя 0 - 28 см, две части слоя 29 - 100 см	1 : 2

Описание почвенного разреза искомой почвы и дальнейший отбор проб для модельного опыта производились на территории Арзамасского района Нижегородской области (лесостепная зона) во второй декаде мая 2014 года. Сам опыт был заложен в мае 2014 года как модельный вегетационно-полевой опыт в четырехкратной повторности по схеме, представленной в таблице 1. Почвенные образцы отбирались трижды за вегетационный период: в мае, июне и июле. При выборе культур для опыта учитывали, что нормативными актами РФ [6] на рекультивируемых после механического нарушения почвах для восстановления плодородия (основная цель биологического этапа рекультивации почв) рекомендуется выращивать однолетние или многолетние травы, поэтому в

качестве подобной культуры была выбрана горчица белая (*Sinapis alba* L.). Набивку сосудов и посев горчицы белой, уход за опытами и уборку культуры осуществляли в соответствии с методикой проведения микрополевых исследований [5].

Анализ почвенных образцов на агрохимические показатели выполнен в соответствии с принятыми в современной лабораторной практике руководствами в лабораториях кафедры агрохимии и агроэкологии Нижегородской ГСХА. Образцы почв анализировали по следующим показателям: обменная кислотность (рН солевой вытяжки) в 1 n растворе KCl потенциометрическим методом на ионометре ЭВ-74; гидролитическая кислотность – по Каппену; сумма поглощенных оснований – по Каппену-Гильковицу; емкость катионного обмена и степень насыщенности почвы основаниями – расчетным способом. Содержание гумуса в почве определяли по методу Тюринга; подвижные соединения фосфора и калия – по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО с определением фосфора на ФЭК-56М, калия на пламенном фотометре FLAPHO-4. Уреазная активность определялась по экспресс-методу Аристовской и Чугуновой.

Математическая обработка результатов исследований проведена методом вариационной статистики с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2007 и методом расчёта коэффициента корреляции Пирсона [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Основой для моделирования техногенно нарушенных почв послужили оподзоленные чернозёмы, довольно широко распространённые в центральных и юго-восточных районах Нижегородской области. На выбранном участке находились посевы однолетних трав (вико-овсяная смесь) с проективным покрытием 85-100 %.

Почвенный разрез, заложенный на данной площадке, характеризуется следующим строением (рис. 1).



Рис. 1 – Профиль исходной чернозёмной оподзоленной почвы

Основой для естественной исследуемой почвы послужили широко распространённые лессовидные суглинки. Палевые, буровато-палевые, пылеватые, карбонатные, они хорошо сортированы, от лесса и покровных суглинков отличаются более тонким механическим составом (в покровных суглинках содержание пылеватых частиц составляет более 60-70 %). Гранулометрический состав — от легких суглинков до глин. Они содержат кварц (50-70 %), калий-натриевые полевые шпаты (10-20 %), карбонаты кальция и магния (5-20 %), а также небольшое количество тяжелых минералов: циркона, ильменита, амфиболов и др. Среди глинистых минералов илистой фракции доминируют гидрослюды (50-60 %) и смешаннослойные слюдисто-монтмориллонитовые образования (30-40 %). Физические и химические свойства этих пород благоприятно сказываются на формировании почв. Так, кальций лессовидных суглинков передается образовавшимся на них почвам, что способствует накоплению гумуса (кальций здесь выступает в качестве фиксатора гумуса) и созданию агрономически ценной структуры.

Оподзоленные черноземы характеризуются небольшим запасом перегноя в гумусовом горизонте, глубоким залеганием карбонатного горизонта, между гумусовым и карбонатным горизонтом находится некарбонатный слой. В этих почвах карбонаты залегают на такой глубине, откуда не всегда обеспечивается их поднятие до гумусового горизонта, поэтому в нижней части гумусового горизонта периодически может устанавливаться дефицит кальция в почвенном растворе и слабокислая реакция.

Последняя вызывает некоторую растворимость гумуса и способствует передвижению ила. В верхней части гумусового горизонта под воздействием дернового процесса идет интенсивное накопление зольных элементов растительных остатков и происходит новообразование органоминеральных коллоидов с высокой поглотительной способностью, определяющую роль в образовании которых играют чёрные гуматы кальция.

Нижней части гумусового горизонта свойственна периодически слабокислая реакция, так как сюда ограничено поступление оснований как сверху, так и снизу. Здесь и обнаруживают признаки оподзоливания, которые морфологически выражены в виде «кремнеземистой присыпки» на границе гумусового и переходного горизонтов. Все перечисленные морфологические характеристики хорошо прослеживаются при изучении профиля соответствующей почвы (табл. 2).

Таблица 2 – Характеристика профиля исходной почвы

Индекс, горизонт	Глубина, см	Описание
А _п	0-23	Пахотный, тёмно-серого цвета, глыбистой структуры, среднесуглинистый, на поверхности имеется корка, свежий, пронизан корнями растений, слабо уплотнен, переход ясный

A ₁	24-46	Тёмно-серый, мелкозернистой структуры с белесой присыпкой по граням структурных отдельностей, среднесуглинистый, свежий, пронизан корнями растений, слабо уплотнен, переход постепенный
AB	47-66	Тёмно-серый с буроватым оттенком, комковато-ореховатая структура, по граням её имеется белесая присыпка кремнезема, среднесуглинистый, плотнее расположенных выше горизонтов, свежий, переход ровный
B	67-89	Бурый с тёмно-серыми пятнами, ореховато-призматической структуры, грани которой покрыты иллювиальными плёнками и белесой присыпкой, наиболее плотный в профиле, свежий, переход постепенный
C	90-160	Палево-охристый, встречаются ходы землероев, бесструктурный, тяжелосуглинистый, тонко-пористый, мучнистый на ощупь, свежий

Подобное сочетание природы почвообразующей породы, богатой различными минералами и имеющей высокие сорбционные показатели, а также особенности непромывного водного режима и постоянного притока органического вещества за счёт отмирания ежегодно наращивающих вегетативную массу травянистых ассоциаций, в сумме и определяет высокую степень плодородия чернозёмов и происходящие в них почвообразовательные процессы (табл. 3-4).

Таблица 3 – Агрохимические показатели чернозёма оподзоленного среднесуглинистого, n=9

Вариант	Углерод, %		P ₂ O ₅ , мг/кг		K ₂ O, мг/кг	
	M ± m	V, %	M ± m	V, %	M ± m	V, %
Контроль	2,08 ± 0,10	7	124,00 ± 3,24	4	160,70 ± 5,72	5
1:1	1,89 ± 0,04	3	103,30 ± 4,26	6	94,70 ± 6,10	9
1:2	1,50 ± 0,05	4	75,30 ± 4,27	4	58,70 ± 4,32	10

Здесь и далее: M – среднее значение; m – ошибка среднего значения; V – коэффициент вариации, %

Таблица 4 – Физико-химические показатели чернозёма оподзоленного среднесуглинистого, n=9

Вариант	рН KCl		Н _г , мг/экв. на 100 г почвы		S, мг/экв. на 100 г почвы		Степень* , %
	M ± m	V, %	M ± m	V, %	M ± m	V, %	
Контроль	5,73 ± 0,11	3	8,17 ± 0,04	1	26,33 ± 1,08	6	76

1 : 1	5,43 ± 0,16	4	3,77 ± 0,11	4	19,00 ± 0,71	5	83
1 : 2	5,20 ± 0,14	4	3,23 ± 0,11	5	16,67 ± 0,82	7	84

* - степень насыщенности почвы основаниями

* - степень насыщенности почвы основаниями

Чернозём оподзоленный среднесуглинистый характеризуется близкой к нейтральной величиной обменной кислотности (5,73) в пахотном горизонте, однако при механическом нарушении и смешивании пахотного и подпахотного слоев (варианты 2-3), происходит её незначительное уменьшение в 1,06 и 1,10 раза (до 5,43 и 5,20 соответственно), что и можно трактовать как воздействие слабокислой нижней части пахотного горизонта с верхней частью пахотного и нижележащим подпахотным слоем, отличающимися карбонатностью лишь на более значительной глубине.

Вариабельность показателя гидролитической кислотности, однако, намного выше: если в контроле она составляет 8,17 мг/экв. на 100 г почвы, то в нарушенных образцах резко повышается – в 2,2 и 2,5 раза (3,77 мг/экв. и 3,23 мг/экв. на 100 г почвы соответственно). Подобные значения можно рассматривать как результат пестроты почвенного покрова, слоистого строения почвообразующих пород и изменений, произошедших с почвой в ходе нарушения и перемешивания естественного сложения почвенных горизонтов.

Сумма поглощённых оснований характеризует почву как богатую различными адсорбированными катионами магния, кальция и натрия, входящих в состав ППК. В контрольном варианте она достигает значения в 26,33 мг/экв. на 100 г почвы, однако при смешивании с менее насыщенными подпахотными горизонтами показывает в вариантах с нарушенной почвой сопутствующее росту гидролитики уменьшение суммы поглощённых оснований: при сопоставлении с контролем данные значения уменьшаются в 1,9 и 1,4 раза соответственно (13,67 и 19,00 мг/экв. на 100 г почвы соответственно).

Углерод в чернозёме представлен в основном в виде гумусовых соединений со значительным преобладанием гуматной фракции над фракцией фульвокислот, однако относительно много углерода находится и в составе карбонатов, т.е. имеет минеральное происхождение. Его содержание составляет 2,08 % в контрольном образце, а в нарушенных вариантах уменьшается в 1,1 и 1,4 раза (1,89 и 1,50 % соответственно). Однако в данном случае речь идет об общем количестве углерода в почве без учёта природы его возникновения — минеральной или органической, поэтому судить о степени потери гумуса и роли солей углерода в общей массе трудно.

Подвижный фосфор в исходной почве контрольного варианта достигает максимального значения 124 мг/кг в пахотном горизонте (повышенное согласно группировке почв по ЦИНАО), а затем его содержание вниз по профилю имеет чёткую тенденцию к снижению [9]. Такое высокое содержание P_2O_5 может быть обусловлено внесением удобрений и возвращением его в почву вместе с органическими остатками, а не минералогическими характеристиками материнской породы, иначе относительно высокое его количество

прослеживалось бы на всей глубине профиля, в то время как вносимый в приповерхностные слои почвы фосфор мигрирует слабо и относительно быстро закрепляется в её органоминеральной части. Таким образом, при механическом нарушении подобных почв различия между содержанием данного биогенного элемента в пахотных и подпахотных горизонтах сглаживаются и усредняются, что хорошо заметно в числовых его значениях: в варианте 1:1 по сравнению с контролем содержание обменного фосфора снижено в 1,2 раза и достигает 103,3 мг/кг (нижняя граница повышенного содержания по ЦИНАО), в варианте 1:2 – в 1,7 раз и равно 75 мг/кг (среднее содержание по ЦИНАО).

Содержание обменного калия в пахотном горизонте контрольного варианта составляет 150,7 мг/кг, что характеризует его как повышенное, и основная роль в формировании такого значения, безусловно, отводится ранее внесённым удобрениям. Вниз по профилю его количество снижается, однако соответствующие флуктуации не так велики, как в случае с фосфором: содержание K_2O в лессовидных суглинках относительно велико и составляет 2,1 %. Вместе с тем, значительное увеличение гидролитической кислотности вниз по профилю и снижение ёмкости поглощённых оснований могут свидетельствовать о неоднородности, слоистости почвообразующей породы, поэтому и калий в ней может быть представлен в формах, отличающихся по своему химизму и способности к миграции. В чернозёмах, в связи с высокой насыщенностью двухвалентными катионами кальция и магния, обменный калий почти не накапливается. Преобладает необменное поглощение этого элемента. Для механически нарушенных почв обоих вариантов отмечается снижение содержания обменного калия в 1,7 и 2,7 раз (94,7 мг/кг и 58,7 мг/кг – среднее и низкое, соответственно) из-за смешения с подпахотными горизонтами и преобладанием в почвообразующей породе кальция, как уже отмечалось выше.

Степень деградации почвы, а также снижения её физико-химических характеристик и показателей плодородия в чернозёме значительно ниже, чем в других типах почв из-за исключительно высокого содержания кальция, обеспечивающего мощную буферную и сорбционную способность. Однако такие неблагоприятные явления, как увеличение гидролитической кислотности, уменьшение суммы обменных оснований и снижение количества необходимого растениям азота в составе гумуса, безусловно, будут негативно отражаться на качестве чернозёма при его механическом нарушении, тем самым отрицательно влияя на продуктивность подобных почв.

В случае механического нарушения почв вне зависимости от их типа и особенностей строения происходит значительное ухудшение как абиотических (физико-химических и агрохимических), так и биотических (ферментативная активность, состав и численность микрофлоры) факторов среды, которые прямо или косвенно влияют на ещё один немаловажный компонент почвенно-биотического комплекса – растительные организмы.

Восстановление потенциального плодородия почв, подвергшихся механическим нарушениям, невозможно без выращивания на них растений. Однако при возврате таких земель в сельскохозяйственное использование выбору

первой культуры придается особое значение: она не должна предъявлять повышенных требований к почвенным условиям и, по возможности, способствовать улучшению таковых после себя. Для подобных условий горчица белая может быть вполне подходящей культурой – растет на слабокислых, небогатых по запасам элементов питания почвах, а её корневые выделения способствуют увеличению подвижности закреплённых в почве элементов питания.

Полученные нами данные об урожайности горчицы белой в условиях модельного вегетационно-полевого опыта на механически нарушенных почвах свидетельствуют о неблагоприятном влиянии данного антропогенного фактора на продуктивность почв (таб. 5).

Таблица 5 – Урожайность надземной массы (г/сосуд) белой горчицы

Вариант опыта	Урожайность сырой надземной массы горчицы, г/сосуд	
	среднее	± к урожайности на контроле, г/сосуд
Контроль	122,3	-
1:1	107,6	- 14,7
1:2	85,7	- 36,6
НСП ₀₅		3,0

В изучаемой почве при её механическом нарушении наблюдается явная тенденция к уменьшению урожайности, причём продуктивность нарушенных почв во всех случаях обратно пропорциональна степени антропогенного изменения почвенного покрова: чем более почва деградирована, тем, соответственно, и меньше урожайность выращиваемой на ней культуры.

Урожайность вегетативной массы на механически нарушенном чернозёме оподзоленном среднесуглинистом в вариантах с соотношением пахотного слоя к подпахотному 1:1 и 1:2 составила 88 % и 76 % от контроля, соответственно. Основываясь на приведенных выше результатах определения физико-химических и агрохимических показателей, можно утверждать, что основными факторами, лимитирующими продуктивность механически нарушенных почв, являются содержание необходимых элементов питания и реакция среды. При этом содержание биогенных элементов будет напрямую влиять на качественные и

количественные показатели продукции, а водородный показатель – определять уровень благоприятности реакции среды для произрастания культуры.

Для оценки зависимости урожайности механически нарушенных почв от значения реакции среды и количества элементов питания в почве используем линейный коэффициент корреляции (или коэффициент корреляции Пирсона), характеризующий степень линейной зависимости между переменными (таб. 6).

Таблица 6 – Коэффициенты корреляции урожайности горчицы белой от некоторых абиотических факторов среды при механическом нарушении чернозёма оподзоленного среднесуглинистого

Почва	C / урожайность	P ₂ O ₅ / урожайность	K ₂ O / урожайность	pH / урожайность
Коэффициент корреляции	0,9953	0,9999	0,9643	0,9846
Ошибка аппроксимации	1,2 %	0,2 %	3,6 %	2,4 %
Сила связи сравниваемых параметров	весьма высокая	весьма высокая	весьма высокая	весьма высокая

Взаимоотношения исходных предикторов описывает линейная зависимость, использован массив из 27 чисел на каждый из показателей (pH, содержание углерода, фосфора и калия, урожайность зелёной массы) в рамках заданных опытом отборов проб, повторностей и вариантов. О силе и тесноте связей отдельных абиотических факторов и урожайности можно судить на основании шкалы Чеддока (таб. 7), [7].

Таблица 7 – Шкала Чеддока

Теснота связи	0,1–0,3	0,3–0,5	0,5–0,7	0,7–0,9	0,9–0,99	1,0
Сила связи	слабая	умеренная	заметная	высокая	весьма высокая	функциональная

Проведя анализ полученных коэффициентов корреляции, можно сделать вывод о том, что выдвинутые нами утверждения о прямом влиянии ухудшения агрохимических и физико-химических факторов на продуктивность нарушенных почв верны.

Для почвенно-биотического комплекса азот выступает в роли одного из жизненно необходимых биогенных элементов, находясь в составе таких органических веществ, как аминокислоты, нуклеотиды, гормоны и некоторые другие медиаторы. Большая часть цикла данного элемента осуществляется при помощи живых организмов. Из них, безусловно, пальма первенства принадлежит почвенной микробиоте, под действием которой происходит обмен соединений

азота, который находится в педосфере в виде простого вещества (газа N₂) и ионов: нитритов (NO²⁻), нитратов (NO³⁻) и аммония (NH₄⁺). Концентрации этих ионов отражают состояние почвенных сообществ, поскольку на эти показатели влияет состояние почвенно-биотического комплекса (растений и микрофлоры), состояние атмосферы, вымывание из почвы различных веществ. Они смогут снижать концентрации азотсодержащих веществ, губительные для других живых организмов, переводить токсичный аммиак в менее токсичные нитраты и в биологически инертный атмосферный азот. Таким образом, микрофлора почвы способствует поддержанию стабильности её химических показателей.

Одним из наиболее часто изученных почвенных ферментов является уреазы (от греч. ούρον – моча) – гидролитический фермент из группы амидаз, обладающий специфическим свойством катализировать гидролиз мочевины до диоксида углерода и аммиака: CO(NH₂)₂ + H₂O → CO₂ + 2NH₃.

Данный фермент обнаруживается у широкого спектра живых существ: в бактериях (например, у уробактерий), дрожжах, растениях (особенно много её содержится в семенах сои), а также у ряда беспозвоночных. В почву карбамид попадает в составе растительных остатков, навоза и как азотное удобрение; он образуется также в самой почве в качестве промежуточного продукта в процессе превращения азотистых органических соединений. Уреазную активность, т.е. потенциальную способность почв к разложению мочевины на углекислый газ и аммиак, в последнее время всё чаще рассматривают как один из наиболее важных показателей биологической активности почвы.

В качестве показателя уреазной активности была выбрана величина времени роста щёлочности паров, которые находятся в равновесии с почвой в присутствии карбамида и по мере роста концентрации выделяемого при распаде мочевины аммиака переходят в фиксируемую индикаторной бумажкой щелочную область цвета.

В процессе наблюдения учитывались и сравнивались величины увеличения щёлочности паров нарушенных и ненарушенных почв, то есть время, за которое водородный показатель достигал значения 8 (т.к. именно оно было зафиксировано во всех пробах и свидетельствовало об относительно высокой концентрации аммиака, выделившегося в процессе распада карбамида). Результаты определения уреазной активности по времени разложения мочевины в контрольных и механически нарушенных в различной степени почвах представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Уреазная активность механически нарушенных чернозёмных почв и их естественного аналога

Вариант	Уреазная активность (время разложения карбамида), ч.	Процент уменьшения активности от контроля	Степень активности
Контроль	3,0	-	высокая
1:1	4,5	25	высокая
1:2	6,0	50	средняя

Резких скачков величины рН среды в ходе наблюдений не было отмечено, что говорит о плавности протекания процесса разрушения карбамида и выделения аммиака.

Характер динамики изменения времени разложения карбамида в чернозёмных почвах свидетельствует о сохранении значительной частью уробактерий активного состояния.

В пробах, взятых с контрольного и механически нарушенных вариантов чернозёма оподзоленного среднесуглинистого степень разложения мочевины уменьшается пропорционально на 25 % (соотношение горизонтов 1:1) и 50 % (соотношение горизонтов 1:2) по сравнению с контролем, причём во всех вариантах скорость разложения мочевины относительно велика, что и является следствием относительного богатства её органикой.

Однако с ростом степени техногенного механического вмешательства, подкислением среды и снижением количества доступной органики увеличивается время разложения карбамида, а сама уреазная активность ингибируется.

Подобное предположение подкрепляется и полученными другими исследователями данными: являясь ферментом и, соответственно, веществом белковой природы, уреазы более активны в нейтральной и близкой к нейтральной по своему рН области, что отражает степень активности уреазы как внутри различных по нарушенности типов почв, так и между ними.

Проанализировав полученные коэффициенты корреляции, прежде всего отметим, что все они обладают двумя общими особенностями, которыми и подтверждается выдвинутая нами ранее теория о взаимосвязи уреазной активности с водородным показателем и содержанием доступной для разложения органики в почве (таб. 9).

Таблица 9 – Корреляционная зависимость времени разложения мочевины от содержания углерода в почве и её реакции среды (по Пирсону)

Почва	Корреляция времени разложения карбамида с содержанием углерода в почве	Корреляция времени разложения карбамида с реакцией среды почвы
Чернозём оподзоленный среднесуглинистый	- 0,9808	- 0,9971

В данном случае взаимоотношения исходных предикторов описывает линейная зависимость, использован массив из 27 чисел на каждый из показателей (рН, содержание углерода, время разложения карбамида) в рамках заданных опытом отборов проб, повторностей и вариантов.

Все найденные величины коэффициентов корреляции приближаются по модулю к единице, что достоверно свидетельствует о сильной, близкой к функциональной связи выбранных показателей между собой, а факт Титова В. И., Шахов С. С., Сеньчева Е. В., Влияние изменения физико-химических и агрохимических показателей чернозёма в ходе его техногенного нарушения на урожайность горчицы белой и уреазную активность почвы // «Живые и биокосные системы». – 2015. – № 14; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-14/article-6>

отрицательности коэффициентов подтверждает пропорциональную зависимость времени разложения карбамида от содержания углерода и реакции среды: при уменьшении содержания углерода и подкислении среды время разложения растёт, а уреазная активность, соответственно, ингибируется.

Таким образом, активность уреазы стимулируется в наиболее благоприятных для работы фермента условиях: при близкой к нейтральной реакции среды в присутствии в почве доступной азотсодержащей органики. В данном опыте, принимая во внимание изменения уреазной активности при механическом нарушении почв, их состояние можно назвать неудовлетворительным.

Учитывая, что главной экологической функцией уреазы в почве является самоочищение её от поллютантов и бактериальных загрязняющих агентов путём преобразования продуктов распада органических соединений до более подвижных и легкоразлагаемых углекислого газа и аммиака, следует признать, что медленно происходящие в механически нарушенных почвах процессы разложения карбамида свидетельствуют о сравнительно низкой потенциальной способности таких систем к самоочищению по сравнению с контрольными, ненарушенными вариантами, о бедности их питательными элементами (прежде всего, углеродом и азотом) и в целом о неблагоприятных условиях для развития растений, в том числе и сельскохозяйственных культур.

Выводы

Полученные данные свидетельствуют о том, что механическое нарушение чернозёма оподзоленного среднесуглинистого в значительной мере изменяет его агрохимические и физико-химические свойства, которые, в свою очередь, негативно влияют на продуктивность подобных почв и урожайность растений. Найдены коэффициенты корреляции между урожайностью горчицы белой и такими абиотическими факторами среды, как содержание углерода, подвижного фосфора и обменного калия в почве, а также кислотностью среды, позволяющие говорить о значительной зависимости урожайности от последних.

Выявлена приближающаяся к прямой функциональной связи весьма высокая зависимость продуктивности почв от ухудшения абиотических факторов, причём на основе численных показателей можно найти и лимитирующие развитие растений. Для чернозёма оподзоленного среднесуглинистого при техногенном нарушении в этой роли будет выступать содержание подвижных форм фосфора, чей коэффициент корреляции с урожайностью численно достигает максимального значения из остальных, приближаясь фактически к единице, а значит, больше всех связан с продуктивностью и оказывает на неё определяющее влияние. Показано, что техногенное нарушение почв влияет и на активность разложения в почве мочевины, снижая деятельность уrolитической микрофлоры. В механически изменённых почвах степень уреазной активности падает в зависимости от уровня их нарушенности, снижаясь на 25 % и 50 % соответственно. Найдены коэффициенты корреляции между содержанием в почвах углерода и реакцией среды, свидетельствующие о тесной,

приближающейся к функциональной, связи этих показателей со временем разложения карбамида.

Таким образом, продуктивность механически нарушенных почв понижена по сравнению с устойчивыми агро- или биоценозами, составив 88 и 76 % от величины урожайности на контроле. Все негативные последствия деградации почвенного профиля, такие как изменение физико-химических и агрохимических свойств, будут негативно сказываться на урожайности выращиваемых сельскохозяйственных культур, а также работе почвенной микробиоты и трансформации ей органических веществ (содержание углерода понизилось в вариантах различной степени нарушенности в 1,1 и 1,4 раза от контроля; подвижного фосфора – в 1,2 и 1,7 раза; обменного калия – в 1,7 и 2,7 раза; реакция среды изменилась в 1,06 и 1,1 раза, гидролитическая кислотность – 2,2 и 2,5 раза; сумма поглощённых оснований уменьшилась в 1,9 и 1,4 раза). Совокупность этих изменений привела к уменьшению урожайности горчицы белой на нарушенных вариантах на 12 и 24 % соответственно, времени разложения карбамида – на 25 и 50%. В данном опыте, учитывая, что при механическом нарушении почв теряется часть их потенциальной продуктивности, урожайность растений и степень биологической активности на примере фермента уреазы можно рассматривать как один из объектов мониторинга ПБК.

Литература

1. Алексахин, Р. М. Формирование системы защиты агросферы от техногенных воздействий / Р. М. Алексахин // Плодородие. – 2006. – № 5. – С. 6-7.
2. Антропогенные почвы. Генезис, география, рекультивация / Под ред. Г.В. Добровольского. – Смоленск: Ойкумена, 2003. – 268 с.
3. Ветчинников, А. А. Эколого-агрохимическое обоснование технологии рекультивации сельскохозяйственных земель, нарушенных при производстве работ на линейных сооружениях: дис... канд. с.-х. наук: 06.01.04 // Ветчинников Александр Александрович – Н. Новгород. – 2010. – 155 с.
4. Дабахова Е. В. Оценка воздействия работ по прокладке магистрального нефтепровода на свойства почвы / Дабахова Е. В., Пятакова Л. П., Ветчинников А. А. // Материалы V съезда Всерос. общества почвоведов им. В.В. Докучаева. – Ростов-на-Дону, 2008. – С. 465.
5. Пискунов, А. С., Методы агрохимических исследований. – М.: КолосС, 2004.
6. РД 39-00147105-006-97. Инструкция по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов. – Уфа: ПТЭР, 1997. – 65 с.
7. Суслов, В. И. Эконометрия. — Новосибирск: СО РАН, 2005. — 744 с.

8. Титова, В. И. Влияние строительно-ремонтных работ на нефтепроводе на эколого-агрохимическую характеристику почв / Титова В. И., Ветчинников А. А. // Агрохимический вестник. – 2009. – № 2. – С. 13-15.
9. Титова, В.И., Шафронов О.Д., Варламова Л.Д. Фосфор в земледелии Нижегородской области. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005.
10. Soil properties and productivity as affected by topsoil movement within an eroded landform / J. A. Schumacher, S. K. Papiernik, T. E. Schumacher, D. A. Lobb, M. J. Lindstrom, M. L. Lieser, A. Eynard // Soil & Tillage Research. – 2009. – № 102. – P. 67-77.

Literatura

1. Aleksaxin, R. M. Formirovanie sistemy zashhity agrosfery ot texnogennyx vozdeystvij / R. M. Aleksaxin // Plodorodie. – 2006. – № 5. – S. 6-7.
2. Antropogennye pochvy. Genezis, geografiya, rekul'tivaciya / Pod red. G.V. Dobrovolskogo. – Smolensk: Ojkumena, 2003. – 268 s.
3. Vetchinnikov, A. A. E'kologo-agroximicheskoe obosnovanie texnologii rekul'tivacii sel'skoxozyajstvennyx zemel', narushennyx pri proizvodstve rabot na linejnyx sooruzheniyax: dis... kand. s.-x. nauk: 06.01.04 // Vetchinnikov Aleksandr Aleksandrovich – N. Novgorod. – 2010. – 155 s.
4. Dabahova E. V. Ocenka vozdeystviya rabot po prokladke magistral'nogo nefteprovoda na svoystva pochvy / Dabaxova E. V., Pyatakova L. P., Vetchinnikov A. A. // Materialy V s"ezda Vseros. obshhestva pochvedov im. V.V. Dokuchaeva. – Rostov-na-Donu, 2008. – S. 465.
5. Piskunov, A. S., Metody agrochimicheskix issledovanij. – M.: KolosS, 2004.
6. RD 39-00147105-006-97. Instrukciya po rekul'tivacii zemel', narushennyx i zagryaznennyx pri avarijnom i kapital'nom remonte magistral'nyx nefteprovodov. – Ufa: PTE'R, 1997. – 65 s.
7. Suslov, V. I. E'konometriya. — Novosibirsk: SO RAN, 2005. — 744 s.
8. Titova, V. I. Vliyanie stroitel'no-remontnyx rabot na nefteprovode na e'kologo-agroximicheskuyu xarakteristiku pochv / Titova V. I., Vetchinnikov A. A. // Agroximicheskij vestnik. – 2009. – № 2. – S. 13-15.
9. Titova, V.I., Shafronov O.D., Varlamova L.D. Fosfor v zemledelii Nizhegorodskoj oblasti. – N. Novgorod: Izd-vo VVAGS, 2005.
10. Soil properties and productivity as affected by topsoil movement within an eroded landform / J. A. Schumacher, S. K. Papiernik, T. E. Schumacher, D. A. Lobb, M. J. Lindstrom, M. L. Lieser, A. Eynard // Soil & Tillage Research. – 2009. – № 102. – R. 67-77.