

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ В ДОЖДЕ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ НА ИХ ПОТЕРИ ИЗ ПОЧВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ДОЖДЕВАНИЯ

Ю.П. Сухановский, д.с.-х.н., А.В. Прущик, к.с.-х.н., В.А. Вытовтов, А.Г. Титов
Курский федеральный аграрный научный центр, e-mail: soil-er@kursknet.ru

Проведен эксперимент с использованием метода дождевания и портативной дождевальной установки. Подготовлены три одинаковых почвенных образца в металлических цилиндрах, имеющих боковой водослив. Подготовлены три варианта дождевой воды с разным содержанием биогенных элементов: 1 – дистиллят, 2 – дистиллят + 1 доза минеральных удобрений, 3 – дистиллят + 2 дозы минеральных удобрений. Проведено орошение каждого почвенного образца. Для химического анализа взят поверхностный сток с почвы (1,3 дм³). Определено содержание биогенных элементов (NH₄, NO₃, K₂O, P₂O₅) в дождевой и в стекающей воде, а также в почве. Рассмотрены случаи, когда концентрация биогенного элемента в стекающей воде была: 1) больше, чем в дожде (его запасы в почве уменьшились); 2) меньше, чем в дожде (его запасы в почве увеличились). Проведен анализ погрешностей. Сделан вывод: увеличение в дождевой воде концентрации биогенного элемента привело к переходу от увеличения к уменьшению его концентрации в воде, стекающей с поверхности почвы.

Ключевые слова: биогенные вещества, потери из почвы, содержание в дожде, метод дождевания, анализ погрешностей.

STUDYING OF INFLUENCE OF BIOGENIC SUBSTANCES CONTENT IN RAINWATER ON IT'S REMOVAL FROM SOIL BY SPRINKLING METHOD

Dr.Sci. Yu.P. Sukhanovskii, Ph.D. A.V. Prushchik, V.A. Vytovtov, A.G. Titov
Federal Agricultural Kursk Research Center, e-mail: soil-er@kursknet.ru

An experiment with the application of the method of sprinkling and a portable sprinkler is conducted. Three similar soil samples are prepared in metallic cylinders with a lateral weir. Three variants of rainwater with different content of biogenic substances: 1 – distilled water, 2 – distilled water + single rate of mineral fertilizers, 3 – distilled water + double rate of mineral fertilizers are prepared. Sprinkling of every soil sample is carried out. For chemical analysis surface runoff from the soil is taken (1.3 l). The content of biogenic elements (NH₄, NO₃, K₂O, P₂O₅) in the rainwater, the runoff water and in the soil is determined. The cases when the concentration of biogenic elements in the runoff water was: 1) more than in the rainwater (biogenic supplies in the soil decreased); 2) less than in the rainwater (biogenic supplies in the soil increased) are considered. Errors are analyzed. A conclusion is drawn: the increase of biogenic element content in rainwater resulted in the transition from the increase to the decrease of its content in the water running off the soil surface.

Keywords: biogenic substances, removal from the soil, content in rainwater, sprinkling method, error analysis.

Эрозию почвы ФАО (Продовольственная и Сельскохозяйственная Организация ООН) определила как перемещение почвенных частиц, почвенных агрегатов, органического вещества и питательных веществ с поверхности земли тремя основными путями: водой, ветром и обработкой почвы. Эрозия отнесена к десяти главным угрозам для почвы [1, 2]. Потери из почвы растворимых форм биогенных веществ с дождевым поверхностным стоком определяют уменьшение запасов питания для растений и загрязнение водных объектов [3]. Стратегия научно-технического развития Российской Федерации [4] на ближайшие 10-15 лет определяет «переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству». Для тако-

го перехода необходимы знания о почвенных процессах, в частности, о процессах переноса биогенных веществ между почвой и поверхностным потоком воды, образованным дождевыми осадками. Для разработки математических моделей этих процессов и нормативов, как элементов методологии формирования комплексов противозерозионных мероприятий, требуются многолетние данные натурных наблюдений [5]. Отсутствие таких данных для условий России тормозит познание этих процессов. Как следствие, тормозит принятие адекватных практических мер (разработку требуемых агротехнологий). В настоящее время для экспериментальных исследований существует метод физического моделирования дождевых осадков (метод дождева-

ния) [6]. Он основан на критериях подобия искусственных и естественных дождей и является единственным методом, который дает возможность для естественных дождей использовать экспериментальные данные, полученные для искусственных дождей. Два вида переноса растворенного вещества в воде определяют массообмен на границе раздела двух сред – почвы и поверхностного потока дождевой воды. Конвекция – вместе с впитываемой водой в почву поступает биогенный элемент. Это не влияет на изменение концентрации биогенного элемента в стекающей с почвы воде. Диффузия – перемещение этого элемента при наличии градиента (разности) его концентраций в окрестности границы раздела сред. Если скорость диффузии направлена из почвы и она больше скорости конвекции, то происходят потери из почвы биогенного элемента (в стекающей воде концентрация этого элемента увеличивается). В противном случае концентрация в потоке воды уменьшается, а в воде почвы она увеличивается. Происходит глобальное загрязнение атмосферы и осаждение (в частности, с дождевыми осадками) загрязнителей на поверхность земли [7]. Среди основных источников загрязнения атмосферы указаны удобрения, используемые на сельскохозяйственных угодьях. По данным С.А. Михайлова [5], в дождевой воде наблюдались следующие концентрации: аммонийного азота 0,6-2,7 мг/дм³; калия 0,1-6,0 мг/дм³; фосфатов 0,0-0,3 мг/дм³; нитратного азота 0,1-1,2 мг/дм³. Следовательно, при оценке потерь из почвы какого-либо вещества необходимо учитывать его содержание в дождевой воде.

Цель исследования – экспериментальное подтверждение, что, увеличивая в дождевой воде концентрацию биогенного элемента, можно перейти от увеличения к уменьшению его концентрации в воде, стекающей с поверхности почвы.

Объект и методы. Объектом исследования были процессы переноса биогенных веществ между почвой и поверхностным дождевым потоком воды. Основным методом исследования является метод дождевания стоковых площадок [6]. Потери из почвы биогенного элемента определяет уравнение:

$$m = \frac{\Delta C \times V}{S} = \Delta C \times h, \quad (1)$$

где: m – потери с единицы площади почвы биогенного элемента, кг/м²; ΔC – изменение концентрации в стоке этого элемента, связанное с его экстракцией (извлечением) из почвы, кг/м³; V – объем стекающей воды, м³; S – площадь поверхности почвы, м²; h – слой стока, м.

Изменение концентрации ΔC определяет уравнение:

$$\Delta C = C_{\text{сток}} - C_{\text{дож}}, \quad (2)$$

где: $C_{\text{сток}}$ – средняя для объема V (или для слоя стока h) концентрация в стекающей с почвы воде,

кг/м³; $C_{\text{дож}}$ – концентрация в дождевой воде, кг/м³. Из (2) следует: 1) при $C_{\text{сток}} > C_{\text{дож}}$ ($\Delta C > 0$) почва теряет биогенный элемент; 2) при $C_{\text{сток}} < C_{\text{дож}}$ ($\Delta C < 0$), наоборот, в почве увеличивается содержание биогенного элемента (за счет его содержания в дождевой воде); 3) при отсутствии в дождевой воде биогенного элемента ($C_{\text{дож}} = 0$) почва всегда будет его терять ($\Delta C = C_{\text{сток}} > 0$).

Уравнение (1) можно записать в следующем виде:

$$m = \frac{\Delta C}{C_{\text{поч}}} \times C_{\text{поч}} \times h = K_{\text{экс}} \times C_{\text{поч}} \times h, \quad (3)$$

$$K_{\text{экс}} = \frac{\Delta C}{C_{\text{поч}}}, \quad (4)$$

где: $C_{\text{поч}}$ – концентрация в почве биогенного элемента, кг/кг, $K_{\text{экс}}$ – коэффициент экстракции, определяющий долю концентрации биогенного элемента в почве, которую поверхностный поток воды извлекает (экстрагирует) из почвы и которая определяет в стекающей воде изменение концентрации ΔC , кг/м³.

Учитывая, что 1 л водного раствора с высокой точностью численно равняется 1 кг, уравнение (3) и равенство (4) можно записать в более удобных разностях:

$$m = K_{\text{экс}} \times C_{\text{поч}} \times h, \quad (5)$$

$$K_{\text{экс}} = \frac{\Delta C}{C_{\text{поч}}}, \quad (6)$$

где: m – потери из почвы биогенного элемента, мг/м²; $K_{\text{экс}}$ – коэффициент экстракции; $C_{\text{поч}}$ – концентрация в почве, мг/кг; h – слой стока, мм; ΔC – изменение концентрации в стекающей воде, мг/дм³.

При $K_{\text{экс}} > 0$ почва теряет биогенный элемент, а при $K_{\text{экс}} < 0$, наоборот, она его получает из дождевой воды. Равенства (5) и (6) справедливы для естественных и искусственных дождей. Ранее проведенные эксперименты подтвердили линейную зависимость (5) m от слоя стока h (для его определенных интервалов значений). Это означает, что при постоянной концентрации $C_{\text{поч}}$ значение $K_{\text{экс}}$ не зависит от слоя стока.

Были подготовлены три одинаковых почвенных образца (почва – чернозем типичный тяжелосуглинистый) в одинаковых металлических цилиндрах с боковым водосливом (рис. 1). Размеры цилиндра следующие: диаметр 25,0 ± 0,1 см, высота 20,0 ± 0,1 см. Для уменьшения концентрации $C_{\text{дож}}$ в (2) использована дистиллированная вода (дистиллятор ДЗ-4-2м), полученная из водопроводной сети. Подготовлены три варианта дождевой воды: первый – дистиллят, второй – дистиллят с добавкой одной дозы минеральных удобрений (нитроаммофоски), третий – дистиллят с двойной дозой тех же удобрений. Одна доза увеличивает в дождевой воде содержание удобрений в расчете на 2,5 мг/дм³ действующего вещества.

Для создания искусственного дождя использована портативная ДУ [8] (рис. 2): диаметр капель

4,0 ± 0,3 мм, высота падения 1,0 м, скорость падения при ударе о почву 4,2 м/с. Для всех вариантов отбирали одинаковый (необходимый для химических анализов) объем воды 1,3 л, соответствующий поверхностному слою стока $h = 26$ мм. Продолжительность дождя была 17 ± 2 минуты, продолжительность стока 15 ± 2 минуты. Для достаточной степени очистки воды от почвенных частиц использовали метод осаждения и метод центрифугирования [9]. Проведены измерения: концентрации биогенных элементов (NO₃, NH₄, P₂O₅, K₂O) в почвенных образцах, в дождевой и в стекающей воде; исходной влажности и плотности почвы; размеров и веса пустых металлических цилиндров и их веса с почвой; интенсивности дождей.

Методы оценки погрешностей. Содержание биогенных элементов в почве определено по ГОСТ [10-12], в воде по ПНД [11, 12]. В этих методах приведены только интервалы, соответствующие вероятности 0,95. Эти интервалы приняты за интервалы абсолютной погрешности. Для проведенных повторных измерений за абсолютную погрешность принято стандартное отклонение. Для однократных измерений принята абсолютная погрешность инструмента (прибора). Погрешность для рассчитанных по формулам значений, например, для двух переменных ($Y = F(X_1, X_2)$) рассчитана по формуле:

$$\Delta Y = \frac{1}{2} [F_{\max}(X_1 \pm \Delta X_1, X_2 \pm \Delta X_2) - F_{\min}(X_1 \pm \Delta X_1, X_2 \pm \Delta X_2)], \quad (7)$$

где: ΔY – абсолютная погрешность для рассчитанного значения Y , $F_{\max}()$ – максимальное значение функции $F()$, X_1 – значение первой переменной, ΔX_1 – абсолютная погрешность для X_1 , X_2 – значение второй переменной, ΔX_2 – абсолютная погрешность для X_2 , $F_{\min}()$ – минимальное значение функции $F()$. Значения $F_{\min}()$ и $F_{\max}()$ определяют, соответственно, нижнюю и верхнюю границу интервала погрешности. Подобно формуле (7), можно оценить погрешность для функций с количеством переменных больше двух. Относительная погрешность (%) записана в следующем виде:

$$\delta = \text{abs} \left(100 \frac{\Delta Y}{Y} \right), \quad (8)$$

где: $\text{abs}()$ – абсолютное значение выражения в скобках. Относительная погрешность δ (8) оценивает (в процентах) долю абсолютной погрешности ΔY в значении Y . Остальную долю (100 – δ) определяет оцениваемая величина Y . При $\delta = 100\%$ доля оцениваемой величины равняется нулю, т.е. при $\delta \geq 100\%$ значение Y является недостоверным.

Результаты и их обсуждение. Эксперименты проведены в лабораторных условиях при температуре воздуха (24 ± 2)°С, дождевой воды (20 ± 2)°С,

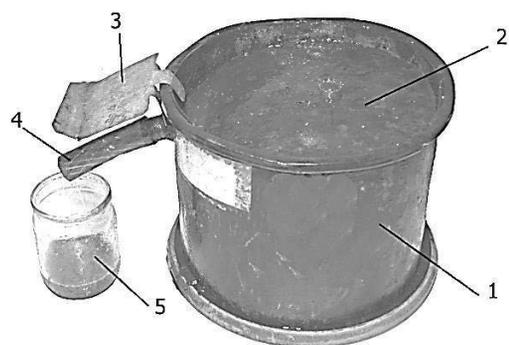


Рис. 1. Почвенный образец в металлическом цилиндре с боковым водосливом
1. Цилиндр; 2. Почвенный образец; 3. Крышка, предотвращающая попадания капель; 4. Боковой водослив; 5. Емкость для сбора стока

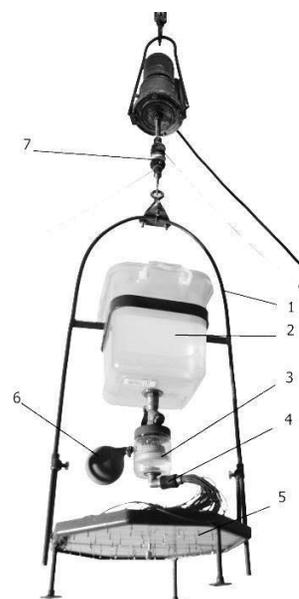


Рис. 2. Портативная дождевальная установка
1. Рама; 2. Бак для воды; 3. Поплавковая камера; 4. Узел с дождевателями; 5. Рабочая поверхность с дождевателями, расположенными по спирали Архимеда; 6. Устройство для удаления воздуха из дождевателей; 7. Автоматическое раскачивающее устройство

почвенного образца (20 ± 2)°С. В таблице 1 представлены данные для трех почвенных образцов. Все образцы сделаны из одной тщательно перемешанной почвы и проанализированы. Химические анализы выполнены специалистами Станции агрохимической службы «Курская».

Данные таблицы 1 показывают, что условия проведения дождевания всех почвенных образцов были практически одинаковыми, исключая содержание биогенных элементов в дождевой воде. Результаты измерений и расчетов представлены в таблице 2, из данных которой следует, что были

1. Плотность, влажность почвы и интенсивность дождя на разных вариантах эксперимента

Характеристика	Номер образца		
	1	2	3
Плотность почвы, г/см ³	1,28±0,01	1,27±0,02	1,23±0,04
Влажность почвы, %	16,7±0,2	16,3±0,2	16,8±0,6
Интенсивность дождя, мм/мин	1,89±0,02	1,89±0,03	1,90±0,03
Варианты	Дистиллят (контроль)	Дистиллят + 1 доза*	Дистиллят + 2 дозы*

* минеральных удобрений.

2. Полученные экспериментальные данные

Почвенный образец	Параметр	NH ₄	NO ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅
1	C _{дож} , мг/дм ³	0,46±0,09	0,73±0,15	1,2±0,24	1,06±0,21
	δ, %	20	20	20	20
	C _{сток} , мг/дм ³	0,17±0,03	0,93±0,19	0,93±0,19	2,32±0,23
	δ, %	18	20	20	10
	ΔC, мг/дм ³	-0,29±0,12	0,20±0,34	-0,27±0,43	1,26±0,44
	δ, %	41	170	159	35
	K _{экс}	-0,090±0,024	0,0025±0,0048	-0,0025±0,0038	0,0082±0,0039
δ, %	26,8	189	151	48	
2	C _{дож} , мг/дм ³	1,43±0,29	0,66±0,13	1,44±0,29	7,18±0,72
	δ, %	20	20	20	10
	C _{сток} , мг/дм ³	0,49±0,10	0,53±0,11	1,21±0,24	5,60±0,56
	δ, %	20	20	20	10
	ΔC, мг/дм ³	-0,94±0,39	-0,13±0,24	-0,23±0,53	-1,58±1,28
	δ, %	41	185	230	81
	K _{экс}	-0,292±0,079	-0,0016±0,0028	-0,0021±0,0047	-0,0103±0,0072
δ, %	27	174	223	70	
3	C _{дож} , мг/дм ³	3,26±0,46	0,87±0,17	5,40±0,76	9,99±1,00
	δ, %	14	20	14	10
	C _{сток} , мг/дм ³	2,04±0,29	0,20±0,15	3,78±0,53	7,44±0,74
	δ, %	14	75	14	10
	ΔC, мг/дм ³	-1,22±0,75	-0,67±0,32	-1,62±1,29	-2,55±1,74
	δ, %	61	48	80	68
	K _{экс}	-0,38±0,18	-0,0084±0,0028	-0,0150±0,0105	-0,0166±0,0094
δ, %	47	34	70	57	
Контроль	C _{поч} , мг/кг	3,22±0,49	79,7±12,0	108±10,8	154±18,8
	δ, %	15	15	10	12

Примечания: ± абсолютная погрешность; δ – относительная погрешность.

случаи, когда почва теряла биогенный элемент (его концентрация в стекающей воде была больше концентрации в дождевой воде ($C_{\text{сток}} - C_{\text{дож}} = \Delta C > 0$, как следствие и $K_{\text{экс}} > 0$). Также были случаи, когда почва, наоборот, получала этот элемент ($\Delta C < 0$ и $K_{\text{экс}} < 0$). Знак у коэффициента $K_{\text{экс}}$ показывает направление процесса (потерю или получение почвой биогенного элемента), а его значение количественно оценивает процесс. Для дождевания почвенного образца 1 в качестве дождя использована дистиллированная вода. Значения $C_{\text{дож}}$ показывают, что в ней содержатся биогенные элементы. Для дождевания почвенного образца 2 использовали ту же дистиллированную воду, но с добавлением одной дозы растворенных минеральных удобрений. Концентрация $C_{\text{дож}}$ увеличилась для NH₄ и P₂O₅, а для NO₃ и K₂O в пределах погрешности она не изменилась. Для дождевания почвенного образца 3 в

дистиллированную воду добавили двойную дозу тех же удобрений. По сравнению с концентрацией для образца 2 концентрация $C_{\text{дож}}$ NO₃ не изменилась (в пределах погрешности), а для других элементов она увеличилась.

Биогенный элемент NH₄. Для образца 1 (дистиллированная вода) концентрация $C_{\text{дож}} = 0,46$ мг/дм³ была настолько большая, что почва получала NH₄ из дождевой воды ($K_{\text{экс}} = -0,090 < 0$). Для образцов 2 и 3 увеличение концентрации NH₄ в дождевой воде привело к увеличению получения почвой этого биогенного элемента (значения коэффициента $K_{\text{экс}}$, соответственно, $-0,292$ и $-0,38$). Из трех значений $K_{\text{экс}}$ для NH₄ все достоверные и отрицательные. Биогенный элемент NO₃. Для образца 1 (дистиллированная вода) концентрация $C_{\text{дож}} = 0,73$ мг/дм³. Значение $K_{\text{экс}} = 0,0025$ определено с относительной погрешностью $\delta = 189\% > 100\%$. Оно недостоверное, исключено из

анализа. Для образца 2 аналогично: $C_{\text{дож}} = 0,66$ мг/дм³, $K_{\text{экс}} = -0,0016$, $\delta = 174\% > 100\%$.

Значение $K_{\text{экс}}$ исключено из анализа. Для образца 3 $C_{\text{дож}} = 0,87$ мг/дм³, значение $K_{\text{экс}} = -0,0084$ является достоверным. Из трех значений только одно достоверное. Биогенный элемент K_2O . Из трех значений $K_{\text{экс}}$ только одно достоверное $K_{\text{экс}} = -0,0150$ для образца 3. Биогенный элемент P_2O_5 . Для всех трех образцов значения $K_{\text{экс}}$ достоверные и равны, соответственно, 0,0082, -0,0103, -0,0166. Все значения концентрации P_2O_5 в дождевой воде также достоверные и равны, соответственно, 1,06, 7,18, 9,99 мг/кг. Вывод: при увеличении концентрации P_2O_5 в дождевой воде произошел переход от увеличения ($K_{\text{экс}} > 0$) к уменьшению ($K_{\text{экс}} < 0$) его концентрации в воде, стекающей с поверхности почвы. Такая экспериментальная закономерность массообмена между почвой и потоком воды согласуется с теоретическим представлением о диффузии и конвекции.

Из уравнений (7) и (8) следует, что для ΔC относительная погрешность определяется зависимостью:

$$\delta = \text{abs} \left(100 \frac{\Delta C_{\text{сток}} + \Delta C_{\text{дож}}}{C_{\text{сток}} - C_{\text{дож}}} \right), \quad (9)$$

где: $\Delta C_{\text{сток}}$, $\Delta C_{\text{дож}}$ – абсолютные погрешности, соответственно, $C_{\text{сток}}$, $C_{\text{дож}}$. Из (9) следует, что с умень-

шением разницы ($C_{\text{сток}} - C_{\text{дож}}$) увеличивается относительная погрешность δ , что может привести к недостоверности значений ΔC и $K_{\text{экс}}$. Наименьшая погрешность будет при отсутствии в дожде биогенных элементов ($C_{\text{дож}} = \Delta C_{\text{дож}} = 0$). Из уравнений (2) и (6) следует, что в таком случае всегда будут потери из почвы биогенного элемента ($K_{\text{экс}} > 0$). Анализы дистиллята, полученного из воды городского водопровода в разные года и месяцы, показали, что содержание биогенных элементов изменяется непредсказуемо. По этой причине в проведенных ранее экспериментах погрешности больше 100% были для разных биогенных элементов.

Таким образом, проведенные эксперименты подтвердили, что увеличение в дождевой воде концентрации биогенного элемента привело к переходу от увеличения к уменьшению его концентрации в воде, стекающей с поверхности почвы.

Работа выполнена в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 гг. (Пункт X 10.2 Земледелие, направление 142, тема № 0632-2019-0017).

Литература

1. Concept note / Global Symposium on Soil Erosion (GSER19), 15-17 May 2019, FAO headquarters, Rome, Italy. URL: <http://www.fao.org/3/CA3232EN/ca3232en.pdf>.
2. Литвин Л.Ф., Кирихина З.П. Почвенно-эрозионная миграция биогенов и загрязнение поверхностных вод / Эрозия почв и русловые процессы. – М.: МГУ, 2004. – С. 45-63.
3. Подлесных И.В., Зарудная Т.Я. Оценка влияния противоэрозионных комплексов для сокращения выноса из агроландшафтов биогенных веществ в весеннем стоке // Агротехнический вестник, 2019, № 4. – С. 24-27.
4. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642. URL: <https://reestr.extech.ru/docs/sntr.pdf>.
5. Михайлов С.А. Диффузное загрязнение экосистем. Методы оценки и математические модели. // Экология. Серия Аналитических обзоров мировой литературы, 2000, № 56. – С. 1-130. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=8818792>.
6. Сухановский Ю.П., Выговтов В.А., Соловьева Ю.А., Прущик А.В., Санжарова С.И., Титов А.Г. Методика определения потерь из почвы биогенных веществ с использованием портативной дождевальной установки // Достижения науки и техники АПК, 2016, Т. 30, № 6. – С. 68-71.
7. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy, 2015. – 650 p. URL: <http://www.fao.org/3/i5199e/i5199e.pdf>.
8. Выговтов В.А., Сухановский Ю.П., Прущик А.В. Патент на полезную модель 184625 Рос. Федерации: МПК А01G 25/00 Портативная лабораторно-полевая дождевальная установка / заявитель и патентообладатель ФГБНУ Курский НИИ АПП. № 22012145695/13; заявл. 03.04.2018, опубл. 01.11.2018, бюл. № 31.
9. Сухановский Ю.П., Выговтов В.А., Титов А.Г., Рязанцева Н.В. Изучение влияния содержания в почве биогенных веществ на вынос их растворимых форм методом дождевания // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии, 2018, № 7. – С. 14-19. DOI: 10.18411/issn1997-0749.2018-07-03.
10. ГОСТ-26951-86 Определение нитратов ионометрическим методом. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-26951-86>.
11. ГОСТ-26489-85 Определение обменного аммония по методу ЦИНАО URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-26489-85>.
12. ГОСТ-26204-91 Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-26204-91>.
13. Определение анионов в воде Методика М 01-30-2009 ПНД Ф 14.1:2:4.157-99 URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200080615>.
14. Определение катионов в воде Методика М 01-31-2011 ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000 URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200079417>.