

## ФИТОТЕСТИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОЧВОГРУНТОВ

Дмитрий Андреевич Соловьев, кандидат сельскохозяйственных наук  
Наталья Викторовна Фомичева, кандидат биологических наук  
ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», г. Москва, Россия  
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

**Аннотация.** Фитотестирование используют для экологического мониторинга почвенных объектов. Цель работы – оценить фитотестирование для определения качества искусственно созданных почвогрунтов. Исследовали два образца: Почвогрунт 1 с осадками сточных вод и Почвогрунт 2 с котлованным грунтом, небольшим количеством торфа и сапропеля. Контроль – почва, обеспечивающая свободный рост тест-культур в естественных условиях определенной почвенно-климатической зоны, куда планируется поставлять готовый почвогрунт. Испытания проводили с семенами трех видов тест-растений: однодольное – овес (*Avena sativa*) и два двудольных – горчица белая (*Sinapis alba*), клевер белый ползучий (*Trifolium repens*). Высевали в контейнеры с почвой/почвогрунтом и помещали в климатостат на 14 дней (днем – 20°C, ночью – 15°C). Установили, что в Почвогрунте 1 все исследуемые биометрические показатели овса и горчицы белой статистически значимо выше, чем в контрольной почве, а развитие клевера белого ползучего угнетено (сырая масса в 8,9 и 2,1 раза меньше, по сравнению с контрольной почвой, соответственно для норм высева 10 и 30 г/м<sup>2</sup>). Параллельно в Почвогрунте 1 выявили превышение содержания валовых форм цинка в 2,5 и меди в 1,4 раза. При испытании Почвогрунта 2 биометрические показатели овса и горчицы белой были на уровне контроля, сырая и сухая масса ростков клевера – соответственно в 2,9 и 1,7 раза выше. Фитотестирование можно рассматривать как качественную реакцию исследуемого почвогрунта на растения и интегральный показатель его плодородия. Обязательное условие – использование тест-растений с мелкими семенами. Это позволяет оценить их реакцию на стимулирующие и токсичные компоненты грунта.  
**Ключевые слова:** фитотестирование, почвогрунт, тест-растения, биометрические показатели, осадки сточных вод, тяжелые металлы, сапропель

## PHYTOTESTING AS A METHOD FOR SOIL QUALITY ASSESSING

D.A. Soloviev, *PhD in Agricultural Sciences*  
N.V. Fomicheva, *PhD in Biological Sciences*  
FRC V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia  
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

**Abstract.** Phytotesting is used for environmental monitoring of soil objects. The purpose of the work is to evaluate phytotesting to determine the quality of artificially created soils. Two samples were examined: Soil 1 with sewage sludge and Soil 2 with pit soil, a small amount of peat and sapropel. Control is soil that ensures free growth of test crops in the natural conditions of a certain soil-climatic zone where it is planned to supply the finished soil. Tests were carried out with seeds of three types of test plants: a monocot – oats (*Avena sativa*) and two dicotyledons – white mustard (*Sinapis alba*), creeping white clover (*Trifolium repens*). They were sown in containers with soil/ground and placed in a climate control system for 14 days (daytime – 20°C, night – 15°C). It was found that in Soil 1 all the studied biometric indicators of oats and white mustard are statistically significantly higher than in the control soil, and the development of creeping white clover is suppressed (wet weight is 8.9 and 2.1 times less compared to the control soil, respectively for seeding rates 10 and 30 g/m<sup>2</sup>). At the same time, in Soil 1, an excess of the content of gross forms of zinc by 2.5 and copper by 1.4 times was revealed. When testing Soil 2, the biometric indicators of oats and white mustard were at the control level, the wet and dry weight of clover sprouts was 2.9 and 1.7 times higher, respectively. Phytotesting can be considered as a qualitative reaction of the studied soil to plants and an integral indicator of its fertility. A prerequisite is the use of test plants with small seeds. This will allow us to evaluate their response to stimulating and toxic soil components.

**Keywords:** phytotesting, soil, test plants, biometric indicators, sewage sludge, heavy metals, sapropel

Важное место при формировании комфортной среды обитания человека в городских условиях занимают зеленые насаждения. Для проведения озеленительных и ландшафтно-проектировочных работ по созданию газонов, клумб, посадке цветов, деревьев и кустарников используют различные искусственные почвогрунты заводского изготовления, питательные грунты. Средний расход качественного грунта на 1 га озеленяемой территории в условиях городской среды – 2,0 тыс. м<sup>3</sup>, посадку одного дерева, имеющего земляной ком размером 1×1×0,6 м, – 2,28 м<sup>3</sup> при 100% замене земли. [1, 4]

Универсальной рецептуры почвогрунтов не существует. Производители применяют различные

компоненты: верховой или низинный торф, окультуренную почву, котлованные грунты, древесные отходы, опавшие листья, речной песок, глину, биокomпосты, в том числе на основе осадков сточных вод, солому, сапропели и другое. Указанные компоненты и грунты на их основе неоднородны по происхождению, составу и качеству. Степень их пригодности для нормального роста и развития растений разнообразна. [11]

Контроль производства почвогрунтов должен осуществляться в соответствии с ГОСТ 53381-2009 «Почвы и грунты. Грунты питательные. Технические условия», а также (в случае их применения на территории г. Москвы) согласно Постановления

Правительства Москвы № 514-ПП от 27.07.2004 (с изменениями на 25 октября 2011 года) «О повышении качества почвогрунтов в городе Москве» (далее Постановление № 514-ПП), в которых к почвогрунтам и всем их компонентам предъявляют определенные требования. Оценка качества готового почвогрунта включает физические, санитарно-гигиенические показатели, а также определение содержания элементов питания растений, токсинов и прочее. В этих условиях важно выбрать метод, позволяющий оперативно, достоверно и без больших затрат провести интегральную оценку. На наш взгляд, этим требованиям отвечает фитотестирование. Оно может дать предварительную или дополнительную информацию о качестве почвогрунта, предназначенного для создания газонов, клумб, посадки цветов, деревьев и кустарников.

Фитотесты очень востребованы, поскольку почвы и грунты — естественная среда обитания высших растений. [5, 8] Существует несколько методов и способов фитотестирования, в основе которых оценка параметров прорастания семян тест-растения. [9] В Российской Федерации применяют следующие стандартизированные методы фитотестирования: МР 2.1.7.2297-07 «Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности (Фитотест)»; ФР.1.39.2006.02264 «Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв» и ФР.1.31.2012.11560 «Методика измерений биологической активности гуминовых веществ методом фитотестирования (Фитоскан)». Метод фитотестирования предназначен для оценки качества почв согласно ГОСТ Р ИСО 18763-2019 «Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений» и ГОСТ Р ИСО 22030-2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений». На практике метод широко используют для экологического мониторинга почвенных объектов и установления токсичного влияния того или иного поллютанта. [6, 12–14]

Фитотестирование можно применять для суммарной оценки качества грунта, степени его обогащенности доступными макро- и микроэлементами, а также как интегральный показатель на этапе составления рецептур при изготовлении нового почвогрунта.

Цель работы — оценить возможность использования фитотестирования для определения качества искусственно созданных почвогрунтов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Мы провели фитотестирование образцов Почвогрунта 1 (с осадками сточных вод) и Почвогрунта 2 (с котлованным грунтом, небольшим количеством торфа и сапропеля), производители которых планировали их применение для озеленения Москвы и Московской области. Для сопоставления результатов фитотестирования исследуемых образцов с их питательной ценностью установили показатели плодородия:

Почвогрунт 1:  $pH_{KCl} - 6,73$  (ГОСТ 26483), массовая доля органического вещества — 10,8% (ГОСТ 26213),  $P_2O_5 - 605$  мг/кг (по Кирсанову, ГОСТ Р 54650),  $K_2O - 182$  мг/кг (по Кирсанову, ГОСТ Р 54650);

Почвогрунт 2:  $pH_{KCl} - 7,50$ , массовая доля органического вещества — 4,14%,  $P_2O_5 - 20,1$  мг/кг,  $K_2O - 68,1$  мг/кг (по Мачигину, ГОСТ 26205).

Образец Почвогрунта 1 из-за наличия в нем осадков сточных вод был сдан в Испытательный лабораторный центр «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (номер записи об аккредитации в РАЛ № RA.RU.21HE32) для определения содержания валовых форм тяжелых металлов.

Фитотестирование почвогрунтов целесообразнее проводить непосредственно в тестируемом образце (твердая фаза), поскольку у растений в этом случае более чувствительная реакция и результаты будут точнее, чем при оценке почвенных вытяжек.

Для оценки токсичности почв в качестве контрольной рекомендуется использовать референтную или искусственную почву, состоящую из торфа, каолиновой глины и кварцевого песка, а также стандартную, максимально близкую по всем параметрам к исследуемой. При оценке искусственных почвогрунтов для сравнения целесообразно выбрать почву, обеспечивающую свободный рост тест-культур в естественных условиях определенной почвенно-климатической зоны, куда планируется поставлять готовый почвогрунт. Мы взяли дерново-подзолистую легкосуглинистую почву (контроль):  $pH_{KCl} - 5,41$ ; содержание органического вещества — 2,43%,  $P_2O_5 - 182,5$  мг/кг,  $K_2O - 61,3$  мг/кг.

Обычно одновременно используют, как минимум, по одному однодольному и двудольному тест-растению с учетом зонального подхода. [7] Испытания проводили с семенами трех видов растений:

**Таблица 1.**  
**Всхожесть и биометрические показатели тест-растений овса и горчицы белой, выращенных в Почвогрунте 1**

Вариант	Всхожесть, %	Средняя длина, см		Средняя сырая масса, $10^{-2}$ г		Средняя сухая масса, $10^{-3}$ г	
		росток	корневая система	росток	корневая система	росток	корневая система
Овес							
Почвогрунт 1	$97,6 \pm 1,3$	$17,7 \pm 0,26^*$	$13,6 \pm 0,31^*$	$12,7 \pm 0,36^*$	$9,1 \pm 0,27^*$	$10,8 \pm 0,25^*$	$5,9 \pm 0,23^*$
Контроль	$98,8 \pm 0,6$	$14,9 \pm 0,34$	$12,4 \pm 0,05$	$8,8 \pm 0,32$	$7,6 \pm 0,26$	$9,0 \pm 0,10$	$6,6 \pm 0,08$
Горчица белая							
Почвогрунт 1	$96,7 \pm 1,3^*$	$6,4 \pm 0,31$	$5,8 \pm 0,41^*$	$15,9 \pm 0,65^*$	$2,3 \pm 0,11^*$	$6,7 \pm 0,13^*$	$1,7 \pm 0,05$
Контроль	$89,0 \pm 1,0$	$6,3 \pm 0,19$	$8,1 \pm 0,45$	$7,8 \pm 0,07$	$1,3 \pm 0,07$	$5,0 \pm 0,10$	$1,5 \pm 0,08$

Примечание: \* — различия значимы при  $p < 0,05$ . То же в таблицах 2-4.

однодольное — овес (*Avena sativa*), двудольные — горчица белая (*Sinapis alba*) и клевер белый ползучий (*Trifolium repens*), который часто применяют при создании газонов.

Почвогрунты 1 и 2 изучали методом фитотестирования по одной схеме, но в разное время.

Исследуемый грунт и подготовленную контрольную почву раскладывали в пластиковые контейнеры по 150 г, увлажняли. Далее в каждый контейнер высевали семена тест-культуры: овес — по 21 шт., горчица белая — 25 шт., клевер белый ползучий — 10 г/м<sup>2</sup> (согласно рекомендациям производителя семян). Повторность опыта — шестикратная. Контейнеры помещали в климатостат марки КС-200 СПУ с заданной программой смены дня и ночи (дневная температура — 20°С, ночная — 15°С). В процессе развития тест-растений поддерживали достаточную влагообеспеченность почвы/грунта. На 14 сут. растения овса и горчицы белой извлекали из контейнеров, отмывали корневую систему и проводили учет биометрических показателей (длина, сырая и сухая масса ростков и корневой системы). У клевера белого ползучего ростки срезали с поверхности грунта и почвы, определяли их сырую и сухую массу.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В разных методах фитотестирования применяют различные тест-параметры: длина корней или стеблей проростков; суммарная биомасса растений; всхожесть семян и энергия их прорастания. [9] Для получения более полной информации и объективной оценки качества почвогрунта мы использовали большинство тест-параметров.

### Фитотестирование Почвогрунта 1.

Овес и горчица белая на ранних стадиях своего онтогенеза в испытываемом грунте развивались лучше: у овса все, а у горчицы белой почти все исследуемые биометрические показатели были статистически значимо выше, чем в контроле (табл. 1). Стимулирующий эффект от применения Почвогрунта 1 был ожидаем, поскольку, во-первых, грунт имел большую питательную ценность, по сравнению с контрольной почвой, во-вторых, осадки сточных вод в составе органических удобрений или грунтов при правильном подборе компонентов и установлении оптимальных норм внесения обладают удобрительной ценностью для растений. [2, 3, 10]

В контейнерах с Почвогрунтом 1 существенно уменьшилась всхожесть и слабо развивались расте-

Таблица 2.  
Средняя сырая масса ростков клевера белого ползучего, выращенного в Почвогрунте 1

Вариант	Норма высева семян, г/м <sup>2</sup>	
	10	30
Почвогрунт 1	0,039 ± 0,007*	0,200 ± 0,031*
Контроль	0,346 ± 0,017	0,412 ± 0,094

ния клевера белого ползучего, по сравнению с контрольной почвой. Для исключения ошибок опыт был заложен повторно с разной нормой высева семян: 10 и 30 г/м<sup>2</sup>. Через 14 сут. определили только сырую массу ростков (табл. 2).

Сырая масса ростков клевера белого ползучего при нормах высева семян 10 и 30 г/м<sup>2</sup> в контрольном варианте выше в 8,9 и 2,1 раза соответственно, по сравнению с показателем, полученным с использованием испытываемого грунта. Семена этого растения мелкие и быстро расходовали собственные запасы питательных веществ. Вскоре после прорастания семян рост растений становился очень зависимым от компонентов почвогрунта, среди которых присутствовали осадки сточных вод. [7]

В образце Почвогрунта 1 установили присутствие валовых форм цинка — 541,4, меди — 178,7 мг/кг. Согласно ГОСТ 53381-2009 и Постановлению № 514-ПП эти значения превышают допустимый уровень в 2,5 и 1,4 раза соответственно, что делает невозможным применение Почвогрунта 1 в растениеводстве, садоводстве, цветоводстве, лесном и городском хозяйствах, на приусадебных участках для повышения плодородия почв, урожайности, качества продукции растениеводства, а также озеленения территорий, в том числе рекреационного.

Таким образом, выявлено соответствие результатов фитотестирования и химических анализов Почвогрунта 1. На фоне высокого содержания в испытываемом грунте элементов питания и лучших биометрических показателей овса и горчицы белой наблюдали угнетение роста и развития клевера белого ползучего, причина которого, вероятнее всего, обусловлена чувствительностью культуры к негативному влиянию повышенного содержания цинка и меди.

### Фитотестирование Почвогрунта 2.

Рост и развитие тест-растений зависят от питательной ценности почвогрунта. По своей характеристике Почвогрунт 2 существенно отличался от контроля (большее содержание органического вещества, карбонатов), тем не менее результаты фитотестиро-

Таблица 3.  
Всхожесть и биометрические показатели тест-растений овса и горчицы белой, выращенных в Почвогрунте 2

Вариант	Всхожесть, %	Средняя длина, см		Средняя сырая масса, 10 <sup>-2</sup> г		Средняя сухая масса, 10 <sup>-3</sup> г	
		росток	корневая система	росток	корневая система	росток	корневая система
Овес							
Почвогрунт 2	98 ± 0,6	15,7 ± 0,45	12,6 ± 0,52	8,8 ± 0,23	7,2 ± 0,29	9,5 ± 0,29	6,1 ± 0,22
Контроль	96 ± 0,8	14,5 ± 0,30	12,1 ± 0,25	8,6 ± 0,19	7,2 ± 0,27	9,3 ± 0,34	6,2 ± 0,19
Горчица белая							
Почвогрунт 2	98 ± 0,6*	7,5 ± 0,13	8,5 ± 0,42	8,0 ± 0,20	1,5 ± 0,15	4,7 ± 0,10	1,1 ± 0,10
Контроль	88 ± 0,5	7,2 ± 0,19	7,1 ± 0,22	7,9 ± 0,34	1,4 ± 0,19	4,4 ± 0,24	1,2 ± 0,18

Таблица 4.

## Средняя масса ростков клевера белого ползучего, выращенного в Почвогрунте 2

Вариант	Сырая масса ростков, г	Сухая масса ростков, г
Почвогрунт 2	1,139 ± 0,147*	0,141 ± 0,033*
Контроль	0,383 ± 0,031	0,083 ± 0,005

вания свидетельствовали о том, что тест-растения овса и горчицы белой на ранних этапах развивались на уровне контрольной почвы. Статистически значимых различий в биометрических показателях растений не установили, за исключением повышения всхожести семян горчицы на 10% (табл. 3).

Сырая и сухая масса ростков клевера была выше, по сравнению с показателями, полученными при использовании контрольной почвы – в 2,9 и 1,7 раза соответственно (табл. 4). Это может быть связано с реакцией культуры на компоненты грунта, среди которых находилось небольшое количество сапротеля.

Результаты фитотестирования показали, что Почвогрунт 2 не вызывает угнетения роста и развития тест-растений на ранних стадиях онтогенеза и при условии соответствия остальных показателей требованиям Нормативной документации может быть рекомендован для озеленительных работ.

**Выводы.** Фитотестирование с использованием высших растений можно проводить для установления токсичности природных и техногенных объектов, а также оценки качества искусственных почвогрунтов, как простой, воспроизводимый, достоверный и недорогой метод, дающий представление об испытываемом почвогрунте в целом.

Выявили согласованность полученных данных по биометрии клевера белого ползучего с результатами химических анализов Почвогрунта 1 на содержание тяжелых металлов и со стимулирующим эффектом сапротеля, входящего в состав Почвогрунта 2. Рекомендуем при фитотестировании обязательно применять тест-растения с мелкими семенами для оценки их реакции на стимулирующие и токсичные компоненты грунта.

Установили, что при отсутствии возможности полноценной оценки готового почвогрунта на комплекс показателей, согласно нормативным документам, фитотестирование можно рассматривать как качественную реакцию тест-растений на исследуемый почвогрунт и интегральный показатель его плодородия.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бастаева Г.Т., Несват А.П., Лявданская О.А., Севостьянов М.А. Перспективность использования почвогрунтов на основе компостов в городском озеленении // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 6 (98). С. 30–37. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-98-6-30-37
2. Брындина Л.В., Полянский К.К., Стазаева Н.В. Применение осадка сточных вод в качестве биоудобрения // Аграрная наука. 2016. № 4. С. 2–3.
3. Грехова И.В., Грехова В.Ю., Михайловская А.А., Приветкина Н.Ю. Применение осадка сточных вод в составе грунтов // Вестник Кемеровского государственного университета 2015. № 1 (61) Т. 2. С. 16–19.

4. Золотаревский А.А., Прокопович И.И. О перспективах применения растительной земли на основе компостов из древесно-растительных остатков в городском озеленении // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2015. Т. 19. № 5. С. 132–136.
5. Лисовицкая О.В., Терехова В.А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения // Доклады по экологическому почвоведению. 2010. Т. 1. № 13. С. 1–18.
6. Николаева О.В., Чистова О.А., Панина Н.Н., Розанова М.С. Экотоксикологическая оценка почв придорожных территорий Ленинградского шоссе методом лабораторного фитотестирования // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2019. № 1. С. 28–34. DOI: 10.3103/s0147687419010083
7. Терехова В.А., Воронина Л.П., Кирюшина А.П. и др. Стандартный алгоритм измерений фитотестирования: учебное пособие. М., 2021. 58 с. ISBN 978-5-9909558.
8. Терехова В.А., Рахлеева А.А., Федосеева Е.В., Кирюшина А.П. Практикум по биотестированию экологичности почв: уч. пос. М.: МАКС Пресс, 2022. 102 с. ISBN 978-5-317-06868-4. DOI: 10.29003/m3054.978-5-317-06868-4
9. Тишин А.С., Тишина Ю.Р. Методы и способы фитотестирования почв: обзор // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 11-2 (113). С. 93–98. DOI: 10.23670/IRJ.2021.113.11.052
10. Чеботарев Н.Т., Найденов Н.Д., Юдин А.А. Агроэкологическая оценка применения осадков сточных вод в качестве удобрений сельскохозяйственных культур // Наука. Мысль: электронный периодический журнал. 2016. Т. 6. № 1-2. С. 31–36.
11. Щербачев А.Ю., Карев С.Ю., Абрамцев В.С. и др. Вопросы подготовки и контроля качества искусственно созданных грунтов для озеленения московских газонов // Экологические системы и приборы. 2012. № 10. С. 28–33.
12. Eremchenko O.Z., Mitrakova N.V., Moskvina N.V. Phytotesting of the soils of urban pedocomplexes in residential areas of Perm, Russia // Applied ecology and environmental research. 2018. Vol. 17. No. 2. PP. 3179–3197. DOI: 10.15666/aeer/1702\_31793197
13. Fomina N.V. Phytotesting and environmental assessment of soil in the greenhouse complex. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Volgograd, Krasnoyarsk. 2020. Vol. 548. P. 022081. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022081
14. Kravsun T.I. Phytotesting of heavy metal contamination of Donbass soils // Diversity of plant world. 2020. No. 3 (6). PP. 37–44. DOI: 10.22281/2686-9713-2020-3-37-44

## REFERENCES

1. Basteava G.T., Nesvat A.P., Lyavdanskaya O.A., Sevost'yanov M.A. Perspektivnost' ispol'zovaniya pochvogrunto v gorodskom ozelenenii // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. № 6 (98). S. 30–37. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-98-6-30-37
2. Bryndina L.V., Polyanskij K.K., Stazaeva N.V. Primenenie osadka stochnyh vod v kachestve bioudobreniya // Agrarnaya nauka. 2016. № 4. S. 2–3.
3. Grekhova I.V., Grekhova V.Yu., Mihajlovskaya A.A., Privetkina N.Yu. Primenenie osadka stochnyh vod v sostave gruntov // Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta 2015. № 1 (61) T. 2. S. 16–19.

4. Zolotarevskij A.A., Prokopovich I.I. O perspektivah primeneniya rastitel'noj zemli na osnove kompostov iz drevesno-rastitel'nyh ostatkov v gorodskom ozelenenii // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoj vestnik. 2015. T. 19. № 5. S. 132–136.
5. Lisovickaya O.V., Terekhova V.A. Fitotestirovanie: osnovnye podhody, problemy laboratornogo metoda i sovremennye resheniya // Doklady po ekologicheskomu pochvovedeniyu. 2010. T. 1. № 13. S. 1–18.
6. Nikolaeva O.V., Chistova O.A., Panina N.N., Rozanova M.S. Ekotoksikologicheskaya ocenka pochv pridorozhnyh territorij Leningradskogo shosse metodom laboratornogo fitotestirovaniya // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie. 2019. № 1. S. 28–34. DOI: 10.3103/s0147687419010083
7. Terekhova V.A., Voronina L.P., Kiryushina A.P. i dr. Standartnyj algoritm izmerenij fitoeffektov: uchebnoe posobie. M., 2021. 58 s. ISBN 978-5-9909558.
8. Terekhova V.A., Rahleeva A.A., Fedoseeva E.V., Kiryushina A.P. Praktikum po biotestirovaniyu ekologichnosti pochv: uch pos. M.: MAKS Press, 2022. 102 s. ISBN 978-5-317-06868-4. DOI: 10.29003/m3054.978-5-317-06868-4
9. Tishin A.S., Tishina Yu.R. Metody i sposoby fitotestirovaniya pochv: obzor // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2021. № 11-2 (113). S. 93–98. DOI: 10.23670/IRJ.2021.113.11.052
10. Chebotarev N.T., Najdenov N.D., Yudin A.A. Agroekologicheskaya ocenka primeneniya osadkov stochnyh vod v kachestve udobrenij sel'skohozyajstvennyh kul'tur // Nauka. Mysl': elektronnyj periodicheskij zhurnal. 2016. T. 6. № 1-2. S. 31–36.
11. Shcherbakov A.Yu., Karev S.Yu., Abramcev V.S. i dr. Voprosy podgotovki i kontrolya kachestva iskusstvenno sozdannyh gruntov dlya ozeleneniya moskovskih gazonov // Ekologicheskie sistemy i pribory. 2012. № 10. S. 28–33.
12. Eremchenko O.Z., Mitrakova N.V., Moskvina N.V. Phytotesting of the soils of urban pedocomplexes in residential areas of Perm, Russia // Applied ecology and environmental research. 2018. Vol. 17. No. 2. Pp. 3179–3197. DOI: 10.15666/aer/1702\_31793197
13. Fomina N.V. Phytotesting and environmental assessment of soil in the greenhouse complex. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Volgograd, Krasnoyarsk. 2020. Vol. 548. P. 022081. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022081
14. Kravsun T.I. Phytotesting of heavy metal contamination of Donbass soils // Diversity of plant world. 2020. No. 3 (6). Pp. 37–44. DOI: 10.22281/2686-9713-2020-3-37-44

*Поступила в редакцию 12.01.2024  
Принята к публикации 26.01.2024*