

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 632.125:631.459.2

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-76-91

К вопросу разработки лабораторной установки для модельного исследования деградации почв (на примере водной эрозии)

Светлана Александровна Манжина

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация, manz.svetlana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9322-0843>

Аннотация. Цель: разработка лабораторной установки для многокомпонентного анализа почв в модельных опытах по их дождеванию. **Материалы и методы исследования.** В качестве материала для исследования использовались труды российских и зарубежных ученых, патенты, лабораторные установки, представленные в профильных лабораториях. Методы исследования включали патентный поиск, анализ и синтез полученных данных. **Результаты и обсуждения.** Для проведения полевых экспериментов нужна соответствующая техническая база, которая может потребовать как выделения опытных участков для натурных исследований на обследуемых территориях, так и значительных затрат, поэтому лабораторные опыты являются наилучшей альтернативой для модельного изучения различных процессов и факторов. В лабораторных установках почвогрунт размещается в специальных емкостях, получивших название лотка, эрозионного лотка или гидравлического лотка (гидролотка). В зависимости от целей исследования применяют различные установки, обеспечивающие поступление воды на поверхность почвогрунта: струйно-капельная трубка, дождевальная установка, перфорированная пластина с терморегулятором. Учеными Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации была предложена лабораторная установка «Устройство для исследования процессов водной эрозии почв». Состав лабораторной установки включает все необходимое оборудование для проведения опытов с большой вариативностью. С ее помощью можно осуществлять моделирование уклона местности, интенсивности дождя, угла его падения, исследование инфильтрата и пр. **Выводы.** Для получения более точных результатов необходимо использовать многокомпонентные установки, позволяющие смоделировать совокупность большого числа факторов. Предложенная лабораторная установка имеет широкие возможности по изучению эрозионной устойчивости почв, состава поверхностного стока и инфильтрата, а также эффективности ряда мелиоративных мероприятий.

Ключевые слова: эрозия почв, лабораторная установка, моделирование эрозии, гидравлический лоток, дождевальная установка, почвогрунт

Для цитирования: Манжина С. А. К вопросу разработки лабораторной установки для модельного исследования деградации почв (на примере водной эрозии) // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 3. С. 76–91. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-76-91.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

On issue of a laboratory facility development for a model study of soil degradation (by the example of water erosion)

Svetlana A. Manzhina

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation, manz.svetlana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9322-0843>

Abstract. Purpose: development of a laboratory facility for multicomponent soil analysis in model experiments on their sprinkling. **Materials and methods of research.** The works of Russian and foreign scientists, patents, laboratory facilities presented in specialized laboratories were used as a material for the study. Research methods included patent search, analysis and synthesis of the data obtained. **Results and discussions.** To conduct field experiments, an appropriate technical base which may require both the allocation of experimental plots for field studies in the surveyed areas, and significant costs, is needed, so laboratory experiments are the best alternative for model study of various processes and factors. In laboratory installations, the soil is placed in special containers called a flume, an erosive flume, or a hydraulic flume (hydroflume). Depending on the objectives of the study, various installations are used to ensure the water flow to the soil surface: a jet-drop tube, a sprinkler, a perforated plate with a thermostat. A laboratory facility “installation for studying the processes of water erosion of soils” was proposed by scientists of Russian Scientific Research Institute of Land Reclamation Problems. The laboratory installation includes all necessary equipment for conducting experiments with great variability. It can be used to model the terrain slope, rain intensity, the angle of its fall, the study of infiltration, etc. **Conclusions.** To obtain more accurate results, it is necessary to use multicomponent installations that allow simulating a combination of a large number of factors. The proposed laboratory facility has a wide range of possibilities for studying the erosion resistance of soils, the composition of surface runoff and infiltration, as well as the efficiency of a number of reclamation measures.

Keywords: soil erosion, laboratory facility, erosion modeling, hydraulic flume, sprinkler, soil

For citation: Manzhina S. A. On issue of a laboratory facility development for a model study of soil degradation (by the example of water erosion). *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(3):76–91. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-76-91>.

Введение. В настоящее время озабоченность мирового сообщества утратой почв сельскохозяйственных земель в результате деградации, вызванной антропогенным их использованием, предполагает принятие неотложных мер по урегулированию этого вопроса [1–5].

По данным мировой статистики [2–4], более 40 % мирового запаса сельскохозяйственных земель являются деградированными в разной степени тяжести, что, несомненно, негативно влияет на плодородие почв, ухудшая условия выращивания сельскохозяйственных культур. Согласно ГОСТ 27593-88¹ под плодородием почв понимают их способность «удо-

¹ГОСТ 27593-88. Почвы. Термины и определения. Введ. 1988-07-01. М.: Стандартинформ, 2006. 9 с.

влетворять потребность растений в элементах питания, влаге и воздухе, а также обеспечивать условия для их нормальной жизнедеятельности». Ухудшенное плодородие почв требует больших денежных затрат на компенсирующие и восстановительные мероприятия (например, увеличение доз минеральных и органических удобрений, землевание и т. д.). Помимо этого, следует отметить, что сам почвенный слой является уникальным средообразующим компонентом биосферы, воспроизводство которого искусственным путем в глобальных масштабах пока не доступно человеческому обществу, а естественные процессы восстановления проходят в течение длительного периода времени [6, 7]. В связи с этим необходимо осуществлять мероприятия, в т. ч. мелиоративные, для поддержания и сохранения плодородия почв.

Согласно РД-АПК 300.01.003-03² для проведения мелиоративных мероприятий разрабатывается проектная документация – мелиоративные проекты. Для реализации этих проектов необходимо привлекать инвестиционные средства, поэтому в документе они названы мелиоративными инвестиционными проектами. При их разработке рекомендуется рассматривать несколько вариантов, отличающихся техническими, технологическими или иными проектными решениями, при этом для каждого из рассматриваемых вариантов проекта должна оцениваться как техническая, так и экологическая и экономическая эффективность.

Оценка целесообразности и эффективности рассматриваемых вариантов осуществляется, исходя из анализа данных природно-ландшафтных, климатических и почвенных условий территории. Последние должны быть оценены в первую очередь по результатам лабораторных исследований, в т. ч. модельных опытов, позволяющих спрогнозировать эффективность предложенных мелиоративных мероприятий.

²Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов мелиорации сельскохозяйственных земель: РД-АПК 300.01.003-03. М., 2002. 129 с.

Целью исследования является разработка лабораторной установки для многокомпонентного анализа почв в модельных опытах по их дождеванию.

Материалы и методы исследования. Для изучения почвенных эрозионных процессов, которые могут быть вызваны поступлением вод в результате таяния снегов, выпадения осадков с высокой интенсивностью или длительным временным периодом воздействия, а также несбалансированными ирригационными мероприятиями, широко применяются пассивные и активные методы исследования. В качестве пассивных методов исследования выделяют регистрацию произошедшей эрозии, например, учет водоэрозии и намывов, установка реперов, повторное нивелирование, оценка мутности поверхностного стока, наземное сканирование, в т. ч. лазерное 3D-сканирование и т. д. [8, 9]. В качестве активных методов используют модельные опыты в полевых и лабораторных условиях [8–14].

Лабораторные методы исследования позволяют изучать эрозионную устойчивость (или эрозионную активность) почв в зависимости от их состава, плотности, уклона, интенсивности дождя, размеров его капель и т. д.

В качестве материала для исследования использовались труды российских и зарубежных ученых, патенты, лабораторные установки, представленные в профильных лабораториях.

Методы исследования включали патентный поиск, анализ и синтез полученных данных.

Результаты и обсуждения. Для проведения полевых экспериментов нужна соответствующая техническая база, которая может потребовать как выделения опытных участков для натурных исследований на обследуемых территориях, так и значительных затрат, например, для подвода необходимого объема воды при имитации дождевания, приборо- и энергообеспечения полевых исследований. В этой связи лабораторные опыты являются наилучшей альтернативой для моделирования различных процессов и факторов.

Лабораторное моделирование осуществляется посредством использования специальных установок. Анализ имеющихся в эксплуатации в различных действующих лабораториях мира и запатентованных лабораторных установок для моделирования эрозии почв и грунтов в различных условиях показал, что основными узлами в них являются объект воздействия (в данном случае почвогрунт), источник активного воздействия и техническая составляющая, обеспечивающая процесс³ [9, 12, 15–17]. Почвогрунт размещается в специальных емкостях, получивших название лотка, эрозионного лотка или гидравлического лотка (гидролотка)⁴ [14–16]. В качестве источника активного воздействия в зависимости от целей исследования применяют различные установки, обеспечивающие поступление воды, например, струйно-капельную трубку, дождевальную установку^{5, 6}, либо устройства термического воздействия в случае изучения влияния талых вод на снос почвенных частиц, например, перфорированную пластину с терморегулятором, лучевой генератор тепла^{7, 8}.

³CN 104502259 B, МПК G 01 N 17/00. Tool for assessing the corrosion resistance of soil masses during wind, water and coupling erosion. Application number 201410789190.X 17.12.2014. Publication number 104502259 08.04.2015. Patent grant number 104502259 15.12.2017. China. 6 p.

⁴SU 1078268 A, G 01 M 10/00. Устройство для исследования эрозионных процессов / Мясников Ю. А., Володин В. М., Таланов С. П.; заявитель и патентообладатель Всесоюз. науч.-исслед. ин-т земледелия и защиты почв от эрозии. № 3364160/30-15; заявл. 14.12.81; опубл. 07.03.84, Бюл. № 9. 2 с.

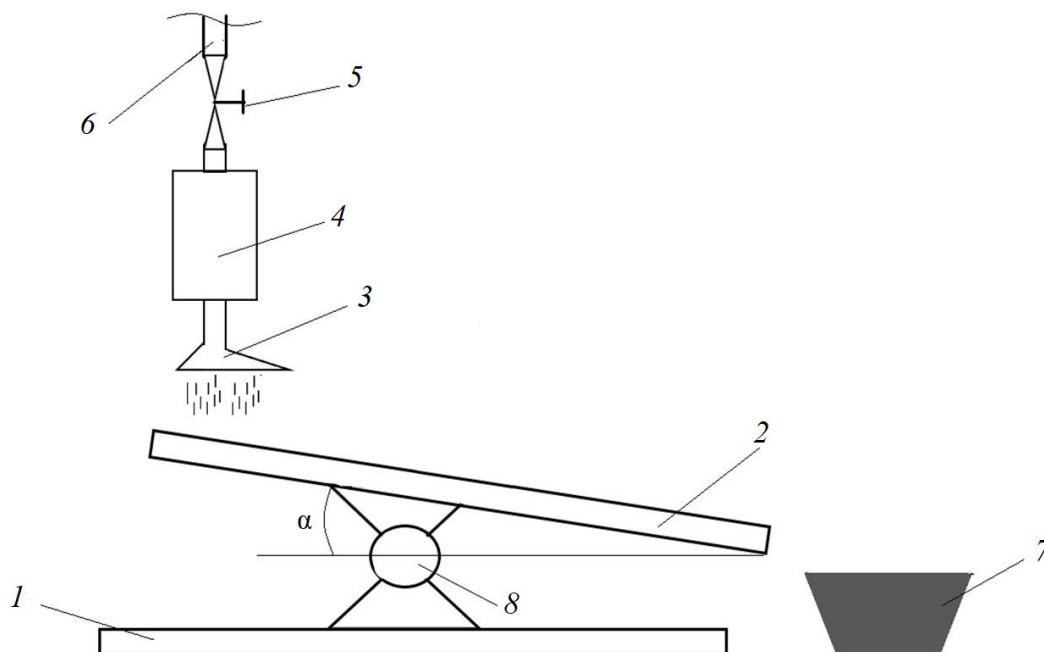
⁵Пат. 2093809 Российская Федерация, МПК G 01 M 10/00. Устройство для исследования эрозионных процессов / Зыков И. Г., Аверьянов О. А., Помещиков С. П.; заявитель и патентообладатель Всерос. науч.-исслед. ин-т агролесомелиорации. № 93027022/13; заявл. 25.05.93; опубл. 20.10.97. 4 с.

⁶KR 1020160085990 B1, МПК G 01 M 99/00, G 01 M 10/00. Soil erosion testing device. Application number 1020150002877 08.01.2015. Publication number 1020160085990 19.07.2016. Patent grant number 1016567690000 13.09.2016. South Korea. 9 p.

⁷SU 1160944 A, A 01 B 13/16, G 01 M 10/00. Установка для моделирования снеготаяния и эрозии почв / Шабасев А. И., Мишинев Ю. А., Тюков А. П., Медведев И. Ф.; заявитель и патентообладатель Науч.-исслед. ордена Трудового Крас. Знамени ин-т сел. хоз-ва Юго-Востока. № 3714536/30-15; заявл. 13.01.84; опубл. 15.06.85, Бюл. № 22. 3 с.

⁸SU 1340602 A1, A 01 B 13/16. Установка для моделирования процессов, возникающих от стока талых снеговых вод / Максимов И. И.; заявитель и патентообладатель Чуваш. с.-х. ин-т. № 4000941/30-15; заявл. 03.01.86; опубл. 30.09.87, Бюл. № 36. 3 с.

Комплектация лабораторных установок зависит от целей исследования. Лабораторные установки для изучения струйной и поверхностной эрозии почв, которая происходит при выпадении осадков или в результате орошения дождеванием, имеют стандартную комплектацию, в состав которой входят лоток для размещения почвогрунта, устройство для дождевания его поверхности и емкость для отбора проб (рисунок 1).



1 – рама; 2 – лоток для размещения исследуемого грунта; 3 – дождевальная насадка; 4 – емкость для воды; 5 – кран; 6 – водоподающая труба; 7 – емкость для отбора проб; 8 – механизм для регулирования угла наклона короба;
 α – угол наклона лотка для имитации уклона местности

1 – frame; 2 – flume for test soil placement; 3 – sprinkling nozzle; 4 – water tank;
5 – tap (valve); 6 – water supply pipe; 7 – capacity for sampling; 8 – mechanism for box slope angle adjustment; α – slope angle of the flume to simulate the terrain slope

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки [18]

Figure 1 – Diagram of the laboratory facility [18]

На рисунке 2 приведены виды стандартных лабораторных установок, применяемых для исследования эрозионных процессов почв в Индии, США и Китае.

При различном устройстве лабораторных лотков появляется возможность наблюдать снос почвенных частиц с поверхности, улавливать

полученный инфильтрат⁹, исследовать влияние растительности на вынос почвенных частиц и биогенов, а также варьировать различные сочетания модельного рельефа.

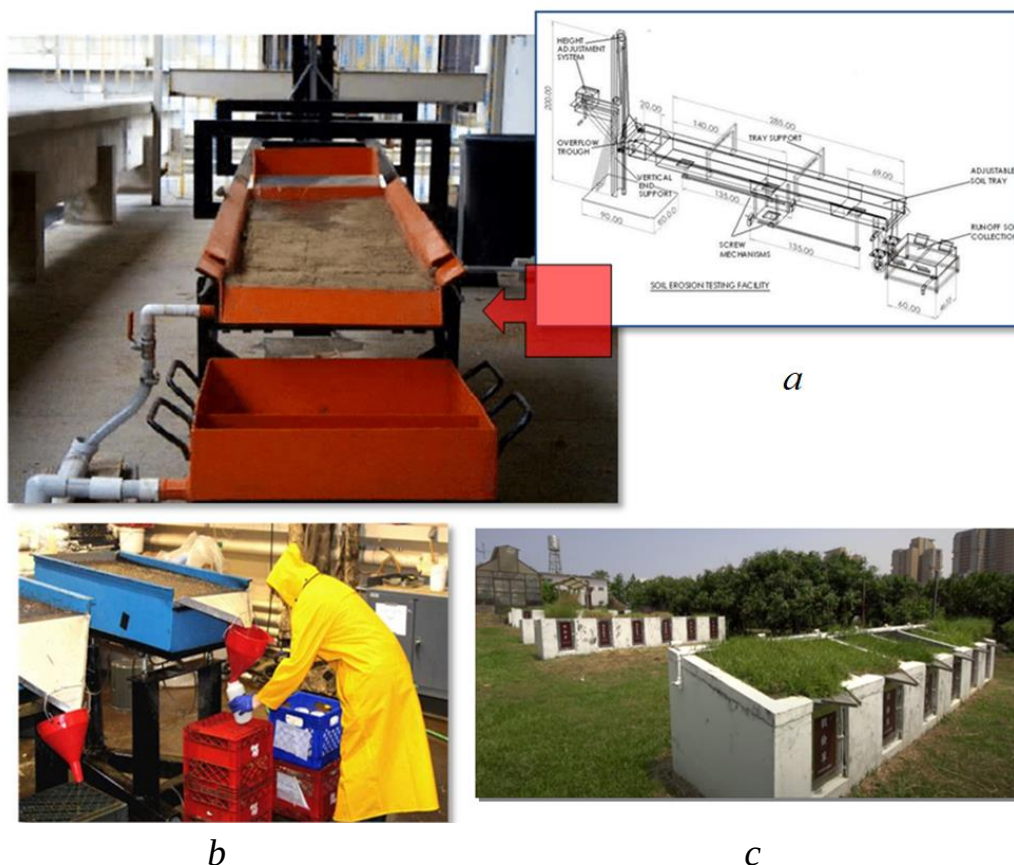


Рисунок 2 – Лабораторные установки для изучения эрозии почв:
a – National Soil Erosion Research, West Lafayette, IN¹⁰;
b – National Soil Erosion Research, West Lafayette¹¹;
c – Soil and Water Conservation Measures on Slope Farmland¹²

Figure 2 – Laboratory facilities for soil erosion study:
a – National Soil Erosion Research, West Lafayette, IN¹⁰;
b – National Soil Erosion Research, West Lafayette¹¹;
c – Soil and Water Conservation Measures on Slope Farmland¹²

⁹Пат. 2013941 Российская Федерация, МПК А 01 G 27/00. Устройство для исследования эрозионных процессов / Сироткин В. М., Максимов И. И.; заявитель и патентообладатель Чуваш. с.-х. ин-т. № 4946063/15; заявл. 17.06.91; опубл. 15.06.94. 5 с.

¹⁰Ekwue E. I., Samaroo K. A new laboratory equipment for assessing soil erosion by water // The West Indian Journal of Engineering. 2011, Jan. Vol. 33, nos. 1/2. P. 43–49.

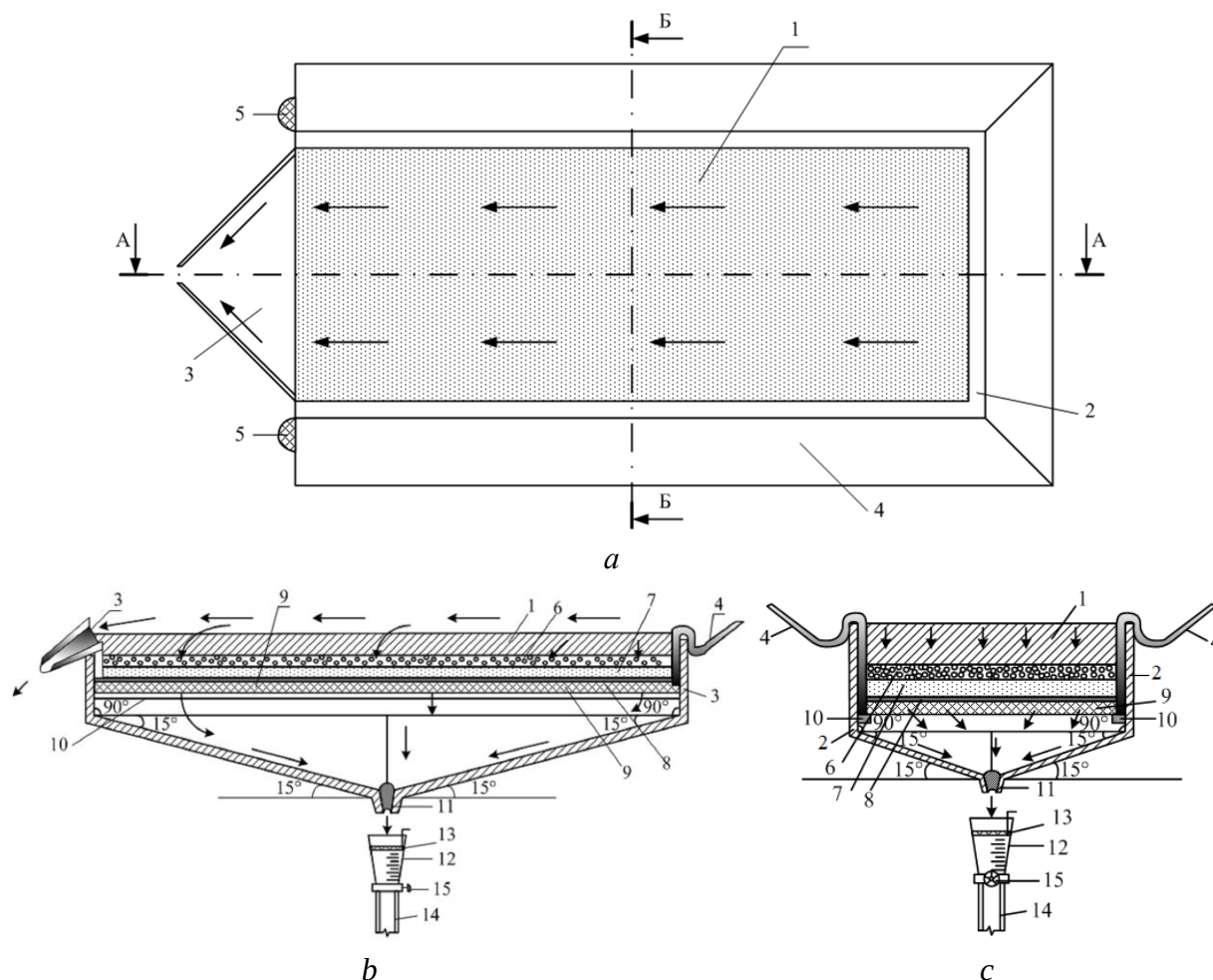
¹¹National Soil Erosion Research: West Lafayette, IN [Electronic resource]. URL: <https://www.ars.usda.gov/midwest-area/west-lafayette-in/national-soil-erosion-research/#> (date of access: 01.03.2022).

¹²Soil Basics: National Soil Erosion Research Laboratory [Electronic resource]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=7vYlTYasBA0> (date of access: 01.03.2022).

Учеными ФГБНУ «РосНИИПМ» для более детального исследования расширенного числа параметров в лабораторных условиях была предложена лабораторная установка «Устройство для исследования процессов водной эрозии почв»¹³. В число возможных вариантов исследования, которые можно осуществлять на предложенной лабораторной установке, входит: 1) определение состава поверхностного стока; 2) определение химического состава инфильтрата, в т. ч. с целью регистрации выщелачивания солей; 3) разрушительная способность капель в зависимости от интенсивности дождевания и угла их падения; 4) эрозионная устойчивость почв при различных вариантах уклона местности и интенсивности дождевания, в т. ч. при наличии травянистой растительности; 5) изучение влияния на состав поверхностного стока и инфильтрата различного химического состава дождевальных вод, в т. ч. при рассмотрении вариантов воздействия осадков с различной кислотностью или модельного внесения жидких форм удобрений и мелиорантов. Состав лабораторной установки включает все необходимое оборудование для проведения опытов с большой вариативностью.

При использовании предложенной установки исследуемый почвогрунт 1 (рисунок 3) укладывается на дно лотка 2 и утрамбовывается в соответствии с его природной (полевой) плотностью. Для приближения к полевым условиям в различных вариациях на него может быть предварительно высажена растительность, что позволит производить исследование эрозионных процессов при дождевании на разных стадиях ее развития, или внесены мелиоранты, в т. ч. структурообразователи, удобрения для оценки их эффективности и доз. Толщина почвогрунта в лабораторной установке должна соответствовать глубине расположения основной массы корней сельскохозяйственных растений (~ 30 см), в случае необходимости данная величина может корректироваться.

¹³Устройство для исследования процессов водной эрозии грунтов / Домашенко Ю. Е., Манжина С. А., Ляшков М. А.; заявитель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. № 2021118560/28(039057); заявл. 23.06.21.



1 – почвогрунт; 2 – лоток (гидролоток) для размещения почвогрунта; 3 – водосток для отбора проб поверхностного стока; 4 – система лоткового водостока для отвода воды, попавшей за периметр лотка; 5 – оголовок системы труб для отвода воды из системы лоткового водостока; 6 – гравий; 7 – крупнофракционный песок; 8 – геотекстиль; 9 – сетчатая перегородка; 10 – боковые планки продольного направления; 11 – отводящее отверстие для инфильтрата; 12 – пробоотборник для инфильтрата; 13 – съемный сетчатый фильтр для почвенного инфильтрата; 14 – труба для отвода излишка инфильтрата; 15 – кран (вентиль)

1 – soil; 2 – flume (hydro flume) for soil placement; 3 – drain for surface runoff sampling; 4 – system of a flume drain for diverting water fallen outside the flume perimeter; 5 – head of the pipe system for diverting water from flume drain; 6 – gravel; 7 – coarse sand; 8 – geotextile; 9 – mesh partition; 10 – side strips of the longitudinal direction; 11 – outlet for infiltration; 12 – sampler for infiltrate; 13 – removable mesh filter for soil infiltration; 14 – pipe for diverting excess infiltration; 15 – tap (valve)

Рисунок 3 – Устройство гидравлического лотка: а – вид сверху; б – продольное сечение А – А; с – поперечное сечение Б – Б

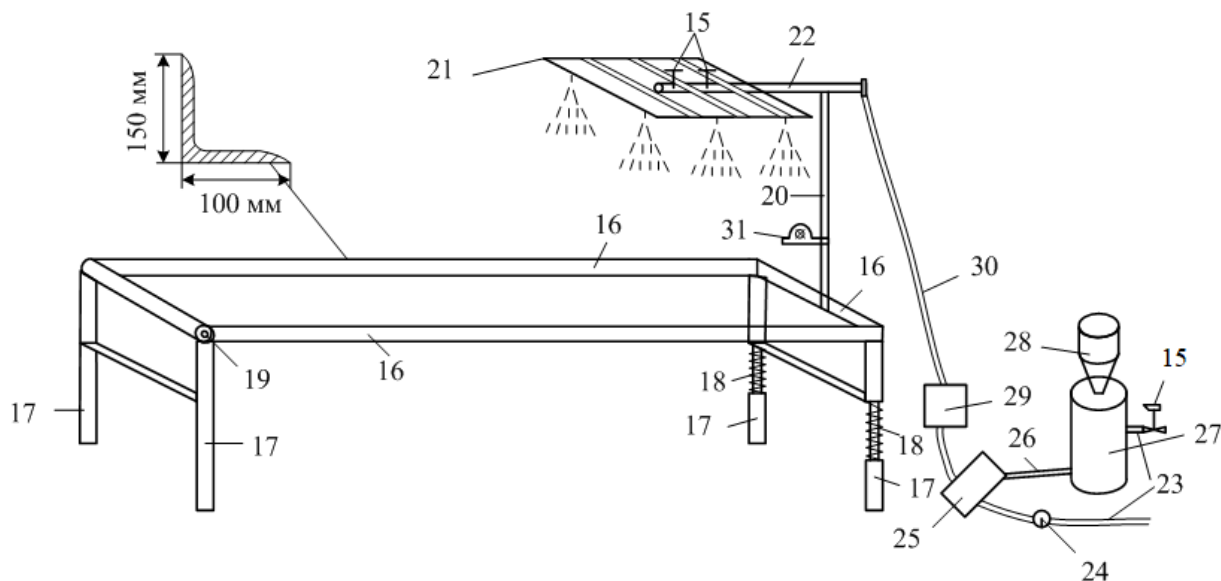
Figure 3 – The layout of the hydraulic flume: а – top view; б – longitudinal section А – А; с – cross section Б – Б

На грунт посредством дождевания подается вода, часть которой стекает по его поверхности и через водосток 3 отбирается в пробоотборный

сосуд для проведения дальнейших лабораторных исследований (определение объема, взвешенных веществ, химического состава). Часть воды, попавшей за пределы периметра лотка в процессе его дождевания, отводится посредством системы лоткового водостока 4 через два оголовка 5, снабженных съемным сетчатым фильтром, в водоотводящую трубу. Часть воды, попавшей на поверхность почвогрунта, фильтруется через его слой и через слой вертикальной дренирующей насыпки, состоящей из слоя гравия 6 с размером фракций 20–25 мм толщиной ~ 5 см, слоя крупнофракционного песка 7 (толщиной ~ 5 см), в результате чего задерживаются почвенные частицы, вынесенные инфильтратом, после этого инфильтрат проходит через иглопробивной нетканый геотекстиль 8, расположенный на сетчатой перегородке 9, размещенной выше дна гидрлотка. Крупнофракционный песок дренажной системы будет способствовать доочистке инфильтрата от мелких взвешенных частиц, а также защите геотекстиля от кольматации.

Сетчатая перегородка 9 опирается по продольному направлению на боковые планки 10, прикрепленные к стенкам лотка. После прохождения через сетчатую перегородку инфильтрат через отверстие 11 собирается в пробоотборник 12, выполненный в виде измерительной воронки, через съемный сетчатый фильтр 13 для задержки остаточного количества взвешенных веществ, попавших в инфильтрат, для дальнейших лабораторных исследований. Избыток инфильтрата может отводиться в отводящую трубу 14 посредством открытия крана 15. Дно гидрлотка 2 выполнено в виде пирамиды с отводящим отверстием 11, что позволяет осуществлять забор инфильтрата по всей площади воздействия при имитации даже малых уклонов местности.

Для размещения гидрлотка предусмотрена специальная металлическая конструкция (рисунок 4) с удерживающими уголками 16 по опорному периметру.



15 – кран (вентиль); 16 – опорные уголки для размещения гидролотка; 17 – опорная ножка; 18 – гидравлический домкрат; 19 – цилиндрический шарнир (поворотный механизм); 20 – кронштейн; 21 – система дождевальных насадок; 22 – труба для подачи дождевального раствора; 23 – водопроводная труба; 24 – расходомер; 25 – инжектор; 26 – труба для подачи раствора в инжектор для смешения с водой; 27 – бак для приготовления раствора; 28 – воронка; 29 – насос; 30 – шланг; 31 – воздуходув
15 – tap (valve); 16 – supporting corners for hydroflume placement; 17 – support leg; 18 – hydraulic jack; 19 – hinge joint (crank mechanism); 20 – bracket; 21 – sprinkler nozzle system; 22 – a pipe for supplying a sprinkler solution; 23 – water pipe; 24 – flow meter; 25 – injector; 26 – pipe for supplying the solution to the injector for mixing with water; 27 – saturator; 28 – funnel; 29 – pump; 30 – hose; 31 – blower

Рисунок 4 – Конструкция для установки гидравлического лотка
Figure 4 – Layout for hydraulic flume arrangement

С помощью представленной конструкции гидролотку в процессе исследований можно придавать любой уклон, регулируя высоту ножек 17 посредством гидравлических домкратов 18 и поворотного механизма в виде цилиндрического шарнира 19. Дождевальная установка, через которую будет осуществляться разбрызгивание воды или водного раствора на поверхность почвогрунта, закрепляется на кронштейне 20. В систему дождевальных насадок 21, представляющих собой дождевальную установку, через трубу 22 подается вода или раствор для дождевания гидролотка. Регулирование рабочей площади системы дождевальных насадок производится посредством кранов 15. Через водоподводящую трубу 23 с известным расходом, который контролируется при помощи установленного расходомера 24,

вода поступает в инжектор 25, где смешивается с раствором заданной концентрации, поданным по трубе 26 из бака 27. Раствор определенной концентрации для опытов изготавливается с целью имитации состава осадков или поливной воды, а также внесения удобрений и мелиорантов в жидкой форме для постановки опытов и лабораторных исследований. Для подачи раствора в бак 27 предусмотрена воронка 28. Через инжектор 25 имитационный водный раствор через насос 29 и водопроводящий шланг 30 поступает в трубу 22 и в систему дождевальных насадок 21, через которую осуществляется дождевание исследуемого почвогрунта. Для имитации взаимодействия факторов дождя и ветра на кронштейн крепится воздуходув 31 с поворотным устройством.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является:

- возможность определения интенсивности выноса почвы и химических веществ с различных видов почвогрунтов, в т. ч. при наличии травянистой растительности;
- возможность регулирования химического состава модельного дождевания за счет смешивания подаваемой воды с раствором в инжекторе и параметров интенсивности дождя за счет изменения расхода водоподачи, что позволит проводить более качественную оценку последствий орошения и атмосферных осадков в процессе развития речейковой и площадной эрозии почв и изменения ее катионно-анионного состава;
- получение данных о выносе химических веществ с инфильтрационным стоком из ризосферы сельскохозяйственных травянистых растений;
- возможность лабораторной апробации способов предотвращения эрозии почв (например, за счет внесения структурообразующих мелиорантов, изменения способа обработки почв).

Для удобства запуска и регулировки количества и интенсивности факторов воздействия в лабораторном модельном опыте механические узлы регулирования предложенной конструкции для установки гидравличе-

ского лотка (рисунок 4) можно легко автоматизировать по стандартным схемам, что позволит минимизировать количество обслуживающего персонала и оптимизировать временные параметры опытных исследований.

В случае необходимости можно установить на выходах раствора для отбора проб (позиции 3 и 11) расходомеры, что позволит дополнительно контролировать влагоемкость почвы (сделав поправку на коэффициент смачивания и технологические потери).

Выводы. Лабораторные исследования во всем мире являются востребованным компонентом для понимания эрозионных процессов почвенного слоя. Для получения более точных результатов необходимо использовать лабораторные установки, позволяющие смоделировать совокупность большого числа факторов среды и обеспечить регистрацию большого числа данных. Наилучшим вариантом для подобных лабораторных исследований является создание многокомпонентных лабораторных установок, что и являлось ориентиром для ученых ФГБНУ «РосНИИПМ» при разработке устройства для исследования процессов водной эрозии почв. Предложенная компоновка лабораторной установки и усовершенствованная форма гидрлотка позволяют расширить возможности изучения эрозионной устойчивости почв при воздействии различных факторов среды, в т. ч. в условиях их совокупного влияния.

Список источников

1. Добровольский Г. В. Деградация почв – угроза глобального экологического кризиса // Век глобализации. 2008. № 2. С. 54–65.
2. A ‘debt’ based approach to land degradation as an indicator of global change / D. Wuepper, P. Borrelli, P. Panagos, T. Lauber, T. Crowther, A. Thomas, D. A. Robinson // Global Change Biology. 2021, Nov. Vol. 27, iss. 21. P. 5407–5410. <https://doi.org/10.1111/gcb.15830>.
3. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)» / под ред. Р. С.-Х. Эдельгериева. Т. 2. М.: МБА, 2019. 476 с.
4. Gupta G. Sh. Land degradation and challenges of food security // Review of European Studies. 2019. Vol. 11, № 1. P. 63. <https://doi.org/10.5539/res.v11n1p63>.
5. Добровольные руководящие принципы рационального использования почвенных ресурсов / Продовольств. и с.-х. орг. Объед. Наций. Рим, 2017. 16 с.

6. Хомяков Д. М. «О повышении плодородия почв: мысли почвоведа». Доклад на заседании в Аграрно-продовольственном комитете Совета Федерации «О повышении плодородия почв в Российской Федерации» 8 декабря 2017 года // Regnum [Электронный ресурс]. URL: <https://regnum.ru/news/economy/2369885.html> (дата обращения: 01.03.2022).

7. Монтгомери Д. Р. Почвы: эрозия цивилизаций [Электронный ресурс] / Продовольств. и с.-х. орг. Объед. Наций. Субрегион. отд-ние по Центр. Азии. Анкара, 2015. URL: <http://www.fao.org/3/a-i4603r.pdf> (дата обращения: 01.03.2022).

8. Манжина С. А. Возможности контроля поступления загрязнений с диффузным стоком в зоне интенсивной сельскохозяйственной деятельности // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2020. № 2(05). С. 49–66. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=63> (дата обращения: 01.03.2022). DOI: 10.31774/2658-7890-2020-2-49-66.

9. Методология изучения эрозионных процессов в лесоаграрных и техногенных ландшафтах / К. Н. Кулик, А. Р. Зубов, И. Г. Зыков, А. А. Зубов; ФНЦ агроэкологии РАН. Волгоград, 2018. 252 с.

10. Манжина С. А., Домашенко Ю. Е. Российские и зарубежные практики мониторинга диффузионных загрязнений, поступающих в водные объекты // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2020. № 3(06). С. 1–20. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=74> (дата обращения: 01.03.2022). DOI: 10.31774/2658-7890-2020-3-1-20.

11. Методика дождевания стоковых площадок для исследования эрозионных процессов / Ю. П. Сухановский, А. И. Санжаров, О. Г. Чуян, Е. П. Проценко, Н. В. Рязанцева, А. А. Проценко, С. С. Балабанов, В. Б. Горин. Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2005. 30 с.

12. Дождевание как экспресс-метод изучения водной эрозии почв / А. В. Прущик, Ю. П. Сухановский, В. А. Вытовтов, А. Г. Титов // Сборник научных трудов ГНБС. 2019. Т. 148. С. 163–169. DOI: 10.25684/NBG.scbook.148.2019.17.

13. Егоров И. Е. Полевые методы изучения почвенной эрозии // Вестник Удмуртского университета. 2009. № 1. С. 157–169.

14. Соболев Н. В., Ахметов А. М. Применение метода дождевания при изучении эрозионных процессов в лабораторных условиях // Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследований: XV Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: Центр развития науч. сотрудничества, 2015. С. 152–155.

15. Ивонин В. М. Эрозия почв: учебник. М., Берлин: Директ-Медиа, 2020. 224 с. DOI: 10.23681/598777.

16. Ekwue E. I. A new laboratory equipment for assessing soil erosion by water // The West Indian Journal of Engineering. 2011, Jan. Vol. 33, nos. 1/2. P. 43–49.

17. Effects of soil texture and gravel content on the infiltration and soil loss of spoil heaps under simulated rainfall / J. Li, W. Wang, M. Guo, H. Kang, Z. Wang, J. Huang, B. Sun, K. Wang, G. Zhang, Y. Bai // Journal of Soils and Sediments. 2020, Nov. Vol. 20(3). P. 3896–3908. DOI: 10.1007/s11368-020-02729-6.

18. Манжина С. А., Домашенко Ю. Е., Комарова Е. В. К вопросу планирования эксперимента при проведении натурных исследований поверхностного стока с сельскохозяйственных полей // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2020. № 4(40). С. 39–57. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1158> (дата обращения: 01.03.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-39-57.

References

1. Dobrovolsky G.V., 2008. *Degradatsiya pochv – ugroza global'nogo ekologicheskogo krizisa* [Soil degradation as a danger of global ecological crisis]. *Vek globalizatsii* [Age of Globalization], no. 2, pp. 54–65. (In Russian).

2. Wuepper D., Borrelli P., Panagos P., Lauber T., Crowther T., Thomas A., Robin-

son D.A., 2021. A 'debt' based approach to land degradation as an indicator of global change. *Global Change Biology*, Nov., vol. 27, iss. 21, pp. 5407-5410. <https://doi.org/10.1111/gcb.15830>.

3. Edelgeriev R.S.-H., 2019. *Natsional'nyy doklad "Global'nyy klimat i pochvennyy pokrov Rossii: opustynivanie i degradatsiya zemel', institutsional'nye, infrastrukturnye, tekhnologicheskie mery adaptatsii (sel'skoe i lesnoe khozyaystvo)"* [National Report "Global Climate and Soil Cover in Russia: Desertification and Land Degradation, Institutional, Infrastructural, Technological Adaptation Measures (Agriculture and Forestry)"], vol. 2. Moscow, MBA Publ., 476 p. (In Russian).

4. Gupta G.Sh., 2019. Land degradation and challenges of food security. *Review of European Studies*, vol. 11, no. 1, p. 63, <https://doi.org/10.5539/res.v11n1p63>.

5. *Dobrovol'nye rukovodyashchie printsipy ratsional'nogo ispol'zovaniya pochvennykh resursov* [Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management]. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2017, 16 p. (In Russian).

6. Khomyakov D.M., 2017. "O povyshenii plodorodiya pochv: mysli pochvoveda". *Doklad na zasedanii v Agrarno-prodovol'stvennom komitete Soveta Federatsii "O povyshenii plodorodiya pochv v Rossiyskoy Federatsii"* ["On increasing soil fertility: thoughts of a soil scientist". Report at a meeting in the Agrarian and Food Committee of the Federation Council "On increasing soil fertility in the Russian Federation"]. Regnum, available: <https://regnum.ru/news/economy/2369885.html> [accessed 01.03.2022]. (In Russian).

7. Montgomery D.R., 2015. *Pochvy: eroziya tsivilizatsiy* [Soils: the Erosion of Civilizations]. UN Food and Agricultural Organization, Subregion Department for the Central Asia, Ankara, available: <http://www.fao.org/3/a-i4603r.pdf> [accessed 01.03.2022]. (In Russian).

8. Manzhina S.A., 2020. [Possibilities for diffusion runoff pollution emission control within the zone of intensive agricultural activity]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, no. 2(05), pp. 49-66, available: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=63> [accessed 01.03.2022]. DOI: 10.31774/2658-7890-2020-2-49-66. (In Russian).

9. Kulik K.N., Zubov A.R., Zykov I.G., Zubov A.A., 2018. *Metodologiya izucheniya erozionnykh protsessov v lesoagrarykh i tekhnogennykh landshaftakh* [Methodology for Studying Erosion Processes in Agroforestry and Technogenic Landscapes]. Federal Scientific Center of Agroecology RAS, Volgograd, 252 p. (In Russian).

10. Manzhina S.A., Domashenko Yu.E., 2020. [Russian and foreign practices of monitoring diffusion pollution entering water bodies]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, no. 3(06), pp. 1-20, available: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=74> [accessed 01.03.2022], DOI: 10.31774/2658-7890-2020-3-1-20. (In Russian).

11. Sukhanovsky Yu.P., Sanzharov A.I., Chuyan O.G., Protsenko E.P., Ryazantseva N.V., Protsenko A.A., Balabanov S.S., Gorin V.B., 2005. *Metodika dozhdevaniya stokovykh ploshchadok dlya issledovaniya erozionnykh protsessov* [The Sprinkling Technique of Runoff Sites for the Study of Erosion Processes]. Kursk, VNIIZiZPE RAAS Publ., 30 p. (In Russian).

12. Pruschik A.V., Sukhanovsky Yu.P., Vytovtov V.A., Titov A.G., 2019. *Dozhdevanie kak ekspress-metod izucheniya vodnoy erozii pochv* [Rainfall simulation as an express-method for studying soil water erosion]. *Sbornik nauchnykh trudov GNBS* [Collection of Scientific Works of GNBS], vol. 148, pp. 163-169, DOI: 10.25684/NBG.scbook.148.2019.17. (In Russian).

13. Egorov I.E., 2009. *Polevye metody izucheniya pochvennoi erozii* [Field methods for studying soil erosion]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta* [Bulletin of Udmurt University], no. 1, pp. 157-169. (In Russian).

14. Sobol N.V., Akhmetov A.M., 2015. *Primenenie metoda dozhdevaniya pri izuchenii erozionnykh protsessov v laboratornykh usloviyakh* [Application of the sprinkling method in the study of erosion processes under laboratory conditions]. *Novoe slovo v nauke i praktike: gipotezy i aprobatsiya rezul'tatov issledovaniy: XV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya*

konferentsiya [New Word in Science and Practice: Hypotheses and Approbation of Research Results: XV International Scientific-Practical Conference]. Novosibirsk, Scientific Development Center Co., pp. 152-155. (In Russian).

15. Ivonin V.M., 2020. *Eroziya pochv: uchebnik* [Soil Erosion: textbook]. Moscow, Berlin, Direct-Media Publ., 224 p., DOI: 10.23681/598777. (In Russian).

16. Ekwue E.I., 2011. A new laboratory equipment for assessing soil erosion by water. The West Indian Journal of Engineering, Jan., vol. 33, no. 1/2, pp. 43-49.

17. Li J., Wang W., Guo M., Kang H., Wang Z., Huang J., Sun B., Wang K., Zhang G., Bai Y., 2020. Effects of soil texture and gravel content on the infiltration and soil loss of spoil heaps under simulated rainfall. Journal of Soils and Sediments, Nov., vol. 20(3), pp. 3896-3908, DOI: 10.1007/s11368-020-02729-6.

18. Manzhina S.A., Domashenko Yu.E., Komarova E.V., 2020. [On issue of planning an experiment conducting field studies of surface runoff from agricultural fields]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 4(40), pp. 39-57, available: <http://www.ros-niipm-sm.ru/article?n=1158> [accessed 01.03.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-39-57. (In Russian).

Информация об авторе

С. А. Манжина – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент.

Information about the author

S. A. Manzhina – Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 14.03.2022; одобрена после рецензирования 26.05.2022; принята к публикации 09.06.2022.

The article was submitted 14.03.2022; approved after reviewing 26.05.2022; accepted for publication 09.06.2022.