

Оригинальная статья

УДК 502/504:631.6.02:620.193.15

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-36-40

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОМЫВКИ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

КАСЬЯНОВ АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ ✉, д-р техн. наук, профессор

kasian64@mail.ru

SPIN-код: 8262-5760, AuthorID: 339847. ID ORCID0000-0002-6912-9078. Scopus AuthorID57209504859. WoSResearcherID AAO-2837-2021

ИСМАИЛ ХЕБА, аспирант

heba95syr@gmail.com

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

Цель исследования – совершенствование конструкции установки за счет применения датчиков концентрации почвенной влаги и цифрового LCR-метра XJW01. Цифровизация гидротехнических мелиораций сельскохозяйственных земель Российской Федерации требует активного применения математических моделей движения потоков влаги, элементов питания, воздуха, тепла в почвенном профиле. Параметры этих потоков в лабораторных условиях определяют методами физического моделирования. Совершенствование конструкции установок для физического моделирования почвенных процессов повышает точность измерений и снижает трудоемкость работ. Модернизированная установка для физического моделирования промывки засоленных почв включает в себя датчики концентрации почвенной влаги. Датчики снабжены токопроводящими обкладками и токопроводящими обмотками. Цифровой LCR-метр XJW01 автоматически определяет датчик как электрический колебательный контур и фиксирует его добротность. Добротность датчика зависит от концентрации почвенной влаги, которая заполняет его корпус. Испытан действующий прототип установки. В интервале концентрации раствора NaHCO_3 от 0 до 350 ммоль/дм³ добротность датчиков изменяется от 282 ± 2.1 до 221 ± 2.7 (уровень значимости $P = 0.99$, число степеней свободы $k = 4$, критерии Стьюдента $t = 4.60$).

Ключевые слова: засоленные почвы, электрический датчик, физическое моделирование, цифровой LCR-метр, добротность, методы измерения

Формат цитирования: Касьянов А.Е., Исмаил Х. Модернизированная установка для физического моделирования промывки засоленных почв // Природобустройство. – 2022. – № 2. – С. 36-40. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-36-40.

© Касьянов А.Е., Исмаил Х., 2022

Scientific article

MODERNIZED PLANT FOR PHYSICAL SIMULATION OF SALINE SOIL WASHING

KASYANOV ALEXANDER EVGENIEVICH ✉, doctor of technical sciences, professor

kasian64@mail.ru

SPIN code: 8262-5760, AuthorID: 339847. ID ORCID0000-0002-6912-9078

ISMAIL KHEBA, 2st year postgraduate student of the department of melioration and land reclamation

heba95syr@gmail.com

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya Str, 49, Russia

The purpose of the study is to improve the design of the installation through the use of soil moisture concentration sensors and digital LCR meter XJW01. The digitalization of hydrotechnical melioration of agricultural lands in the Russian Federation requires the active use of mathematical models for the movement of moisture flows, nutrients, air, and heat in the soil profile. The parameters of these flows in the laboratory are determined by the methods of physical modeling. Improving the design of installations for the physical modeling of soil processes increases the accuracy of measurements and reduces the labor intensity of work. The modernized facility for physical modeling of saline soil leaching includes electrical

sensors for measuring the concentration of soil moisture. The sensors are equipped with conductive plates and conductive windings. Digital LCR meter XJW01 automatically detects the sensor as an electrical oscillatory circuit and fixes its quality factor. The quality factor of the sensor depends on the concentration of soil moisture that fills its body. The operating prototype of the installation was tested. In the concentration range of NaHCO_3 solution from 0 to 350 mmol/dm^3 , the quality factor of the sensors varies from 282 ± 2.1 to 221 ± 2.7 (significance level $P = 0.99$, number of degrees of freedom $k = 4$, and Student's test $t = 4.60$).

Keywords: saline soils, electrical sensor, physical simulation, digital LCR meter, quality factor, measurement methods

Format of citation: Kasyanov A.E., Ismail Kheba. Modernized plant for physical simulation of saline soil washing // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 2. – С. 36-40. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-36-40.

Введение. Физическое моделирование почвенных процессов находит широкое применение в области гидромелиорации и почвоведения. Используют монолиты с ненарушенной структурой и насыпные образцы почвы. Монолиты или насыпные образцы размещают в корпусах круглого или прямоугольного сечения. По слоям фиксируют параметры потоков влаги, растворов солей, тепла, воздуха [1-4].

Данные физического моделирования необходимы для математического моделирования почвенных процессов [5-6]. На физических моделях разрабатываются элементы технологий мелиорации почв [7-10]. Ранее авторы предложили конструкцию установки для физического моделирования промывки засоленных почв [4]. Установка включала в себя корпус, снабженный узлами подключения пьезометра и отбора почвенной влаги. Отбор почвенной влаги вносил погрешность в результаты исследования почвенных процессов и увеличивал трудоемкость работ.

Цель исследования – совершенствование конструкции установки за счет применения датчиков концентрации почвенной влаги и цифрового LCR-метра XJW01.

Материалы и методы исследований. Конструкция модифицированной установки показана на рисунке 1.

Установка включает в себя стойку пьезометров, корпуса установки и подающие трубопроводы, закрепленные на лабораторной стойке, уравнительные сливы, установленные в горловинах 5 корпусов, датчики концентрации почвенного раствора, узлы подключения пьезометров, концевые сбросы фильтра, цифровой LCR-метр XJW01.

Пьезометры, сливы и соединительные шланги выполнены из трубок медицинского комплекта для инфузионной терапии. Датчики концентрации почвенного раствора влаги выполнены из одноразовых шприцев объемом 5...10 мл, снабженных иглами калибра 12G...22G, токопроводящими обкладками и проволочными обмотками. На 60% длины игл алмазным надфилем прорезаны дополнительные отверстия. Токопроводящие обкладки

выполнены из медного скотча шириной 15 мм и толщиной 0.06 мм. Марка меди – ММ, клеевой слой – акриловый однослойный. Проволочные обмотки выполнены из медного обмоточного провода марки ПЭТВ-2 диаметром 0.05 мм и состоят из 280 витков. Концы проводов обмоток соединены с концами токопроводящих обкладок, образуя электрические колебательные контуры. На каждом корпусе установлены 4 датчика, которые размещены на глубине 18, 40, 65, 95 см от поверхности почвенного образца.

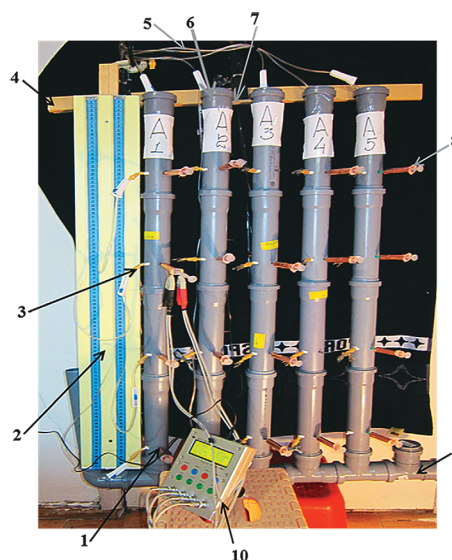


Рис. 1. Модернизированная установка для физического моделирования промывки засоленных почв:

- 1 – корпус установки; 2 – стойка пьезометра;
- 3 – узел подключения пьезометра;
- 4 – лабораторная стойка; 5 – подающие трубопроводы;
- 6 – горловина корпуса; 7 – уравнительный слив;
- 8 – датчик концентрации почвенного раствора;
- 9 – концевой сброс фильтра;
- 10 – цифровой LCR-метр XJW01

Fig. 1. Modernized plant for physical simulation of washing of saline soils:

- 1 – plant body; 2 – piezometer stand;
- 3 – piezometer connection unit; 4 – laboratory rack;
- 5 – supply pipelines; 6 – neck of the body;
- 7 – equalizing drain; 8 – soil solution concentration sensor;
- 9 – end discharge of filtrate;
- 10 – digital LCR meter XJW01

Датчики концентрации почвенного раствора работают как электрические колебательные контуры, величина добротности параллельного контура:

$$Q = Re \cdot \sqrt{C/L},$$

где Re – сумма активных сопротивлений в цепях обмотки и обкладок датчика; C – электрическая емкость датчика; L – индуктивность обмотки датчика.

Величина Q зависит от концентрации раствора в корпусе датчика.

Калибровку датчиков выполнили изменением площади обкладок и числа витков обмотки. Величина добротности пустых датчиков изменялась в пределах $268,8 \pm 1.92$ при уровне значимости

$P = 0.99$, при числе степеней свободы $k = 4$ и критерии Стьюдента $t = 4.60$. Добротность датчиков измеряли цифровым LCR-метром XJW01. Диапазон измерения – от 0.000 до 999.0; базовая точность – 0.3%. Прибор автоматически определяет датчик как электрический колебательный контур и фиксирует величину его добротности. Зависимость между концентрацией раствора гидрокарбоната натрия и величиной добротности датчика установили тарировкой. Корпус датчика заполнили раствором гидрокарбоната натрия (NaHCO_3) и определили величину его добротности. Температура раствора составила 24°C .

В таблице приведены данные тарировки датчиков.

Таблица

Зависимость величины добротности датчика от концентрации раствора NaHCO_3

Table

Dependence of the sensor Q factor value on the concentration of NaHCO_3 solution

Концентрация NaHCO_3 , ммоль/дм ³ <i>Concentration NaHCO_3, mmol/dm³</i>	Величина добротности <i>Q factor</i>	Доверительный интервал, при $P = 0.99, k = 4, t = 4.60$ <i>Confidence interval, at $P = 0.99, k = 4, t = 4.60$</i>
0	282	282 ± 2.1
50	274	274 ± 2.3
100	267	267 ± 2.6
150	259	259 ± 2.6
200	241	241 ± 2.4
250	235	235 ± 2.4
300	227	227 ± 2.5
350	221	221 ± 2.7

Корпуса установки собирали из отдельных патрубков, снабженных горловинами и уплотнительными кольцами. В качестве патрубков использовали полипропиленовые трубы диаметром 50...70 мм. Длина патрубков составляла 20...30 см. Патрубки соединяли в единый корпус, длина которого составляла 100 см. Установка включает в себя пять корпусов, что позволяет проводить исследования одновременно на пяти почвенных образцах, обеспечивая пятикратную повторность опыта. Испытания прототипа модернизированной установки выполнили на монолитах, которые ранее были использованы для послойного измерения коэффициентов фильтрации. Монолиты взяты с карты намыва песчаного карьера, расположенного в пойме рек Гжелка и Москва городского округа Жуковский Московской области. Аллювиальный намывтый песок средней крупности имел диаметр фракций 0.6...0.8 мм, пористость 0.37 ± 0.04 (среднее \pm ошибка среднего), объемную массу 1.32 ± 0.03 г/см³, коэффициент фильтрации 2.36 ± 0.041 м/сут., токсичные соли отсутствовали [4].

Подачей воды снизу монолиты были заполнены 3%-ным водным раствором NaHCO_3 .

С подачей воды сверху начался процесс промывки. Показания датчиков концентрации почвенного раствора фиксировали с интервалом 30 мин. цифровым LCR-метром XJW01. Измеренные величины добротности датчиков посредством данных представленной выше таблицы пересчитывались в величины концентрации NaHCO_3 .

На рисунке 2 показано изменение по слоям монолита концентрации почвенной влаги в начальный период процесса промывки.

Результаты и их обсуждение. В интервале низких концентраций почвенной влаги от 0 до 150 ммоль/дм³ разрешающая способность датчиков концентрации почвенного раствора является недостаточной. Разрешающую способность могут повысить усилители звуковой частоты, включенные в измерительные цепи.

Конструкция модернизированной установки для физического моделирования промывки засоленных почв в отличие от прототипа снабжена электрическими датчиками концентрации почвенной влаги и цифровым LCR-метром XJW01. Корпуса собраны из отдельных патрубков, снабженных горловиной и уплотнительными кольцами. В корпуса

установки загружают почвенные керны, монтируют узлы подключения пьезометров и датчиков концентрации почвенной влаги. Датчики снабжены токопроводящими обкладками и проволочными обмотками. Концентрацию почвенной влаги оценивают по добротности датчиков.

Создан действующий прототип модернизированной установки, проведены ее испытания на почвенных монолитах. Подтверждена работоспособность предложенной конструкции модернизированной установки. Добротность пустых датчиков изменяется в пределах $268,8 \pm 1.92$ при уровне значимости $P = 0.99$, числе степеней свободы $k = 4$ и критерии Стьюдента $t = 4.60$. При изменении концентрации NaHCO_3 от 0 до 350 ммоль/дм^3 добротность датчиков изменяется от 282 ± 2.1 до 221 ± 2.7 (уровень значимости $P = 0.99$, число степеней свободы $k = 4$, критерии Стьюдента $t = 4.60$). Работоспособность модернизированной установки подтверждают результаты проведенных опытов.

На основе действующего прототипа будет изготовлена серия модернизированных

установок для исследования технологий промывок образцов засоленных почв Сирийской Арабской Республики.



Рис. 2. Изменение концентрации почвенной влаги, ммоль/дм³, по слоям монолита, см, в процессе промывки

Fig. 2. Change in the concentration of soil moisture, mmol / dm³, along the layers of the monolith, cm, in the process of washing

Библиографический список

1. **Kalisman D.A.** Macroscopic Analytical Model for Pressure Wave Propagation in the Water of a Variably Saturated Porous Medium / S. Sorek, A. Yakirevich, T. Kamai // *Vadose Zone*. – 2019. – V. 18. – № 1. – P. 190067. DOI: 10.2136/vzj2019.06.0067.
2. **Nicolás-Cuevas J.A.** Removable Weighing Lysimeter for Use in Horticultural Crops / J.A. Nicolás-Cuevas D. Parras-Burgos M. Soler-Méndez A. Ruiz-Canales and J.M. Molina-Martínez // *Applied Sciences*. – 2020. – V. 10. – P. 4865. DOI: 10.3390/app10144865.
3. **Levital E.** Measurement of gas diffusion coefficient in highly permeable porous media / N. Weisbrod, M.I. Dragila, T. Kamai // *Vadose Zone*. – 2019. – V. 18. – № 1. – P. 180164. DOI: 10.2136/vzj2018.08.0164.
4. **Касьянов А.Е., Исмаил Х.** Установка для физического моделирования промывки засоленных почв // *Природобустройство*. – 2021. – № 2. – С. 31-35. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-31-35.
5. **Mustafayev Zh.S., Kozykeeva A.T., Abdeshev K.B.** Mathematical Modeling of Salt Leaching of Saline Soils // *World Applied Sciences Journal*. – 2013. – V. 27. – № 2. – P. 191-200. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.27.02.13615.
6. **Giampaolo V., Calabrese D., Rizzo E.** Transport processes in porous media by self-potential method // *Applied and Environmental Soil Science*. – 2016. – V. 2016. – P. 3951486. DOI: 10.1155/2016/3951486.
7. **Polubarinova-Koch P.Ya.** (2015). *Theory of Ground Water Movement*. Princeton, NJ: Princeton University Press. Published: Dec 8, 2015. Copyright: 1962. – P. 634.
8. **Alcivar M.** Reclamation of Saline-Sodic Soils with Combined Amendments: Impact on Quinoa Performance and Biological Soil Quality / A. Zurita-Silva M.

References

1. Macroscopic Analytical Model for Pressure Wave Propagation in the Water of a Variably Saturated Medium / Kalisman D.A., Sorek S., Yakirevich A., Kamai T. // *Vadose Zone*. – 2019. – V. 18. N1. – P. 190067. Porous DOI: 10.2136/vzj2019.06.0067.
2. **Nicolás-Cuevas J.A.** Removable Weighing Lysimeter for Use in Horticultural Crops / Parras-Burgos D., Soler-Méndez M., Ruiz-Canales A. and Molina-Martínez J.M. // *Applied Sciences*. – 2020. – V. 10. – P. 4865. doi:10.3390/app10144865.
3. **Levital E.** Measurement of gas diffusion coefficient in highly permeable porous media / Weisbrod N., Dragila M.I., Kamai T. // *Vadose Zone*. – 2019. – V. 18. – N1. – P. 180164. DOI: 10.2136/vzj2018.08.0164.
4. **Kasyanov A.E., Ismail H.** Ustanovka dlya fizicheskogo modelirovaniya promyvk zasolennykh pochv // *Prirodobustrojstvo*. – 2021. – № 2. – S. 31-35. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-31-35.
5. **Mustafayev Zh.S., Kozykeeva A.T., Abdeshev K.B.** Mathematical Modeling of Salt Leaching of Saline Soils // *World Applied Sciences Journal*. – 2013. – V. 27. – N. 2. – P. 191-200. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.27.02.13615.
6. **Giampaolo V., Calabrese D., Rizzo E.** Transport processes in porous media by self-potential method // *Applied and Environmental Soil Science*. – 2016. – V. 2016. P. 3951486. DOI: 10.1155/2016/3951486.
7. **Polubarinova-Koch P.Ya.** (2015). *Theory of Ground Water Movement*. Princeton, NJ: Princeton University Press. Published: Dec 8, 2015 Copyright: 1962 P.: 634 ISBN: 9780691625386.
8. **Alcivar M.** Reclamation of Saline-Sodic Soils with Combined Amendments: Impact on Quinoa Performance and Biological Soil Quality / Zurita-Silva A., Sandoval M.,

Sandoval, C. Cristina Muñoz M. Schoebitz // Sustainability 2018. – V. 10. – P. 3083. DOI: 10.3390/su10093083.

9. **Batarseh M.** Sustainable Management of Calcareous Saline-Sodic Soil in Arid Environments: The Leaching Process in the Jordan Valley // Applied and Environmental Soil Science. – 2017. – V. 2017. – P. 9. <https://doi.org/10.1155/2017/1092838>.

10. **Raychev T.** Physicochemical reclamation of saline soils using coal powder / T. Raychev, S. Popandova, G. Józefaciuk, M. Hajnos, Z. Sokółowska // International Agrophysics. – 2001. – V. 15. – № 1. – P. 51-54.

Критерии авторства

Касьянов А.Е., Исмаил Х. выполнили теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 15.03.2022 г.

Одобрена после рецензирования 18.04.2022 г.

Принята к публикации 25.04.2022 г.

Cristina Muñoz C., Schoebitz M. // 2018, V. 10, 3083. doi:10.3390/su10093083.

9. **Batarseh M.** Sustainable Management of Calcareous Saline-Sodic Soil in Arid Environments: The Leaching Process in the Jordan Valley // Applied and Environmental Soil Science. – 2017. – V. 2017. – P. 9. <https://doi.org/10.1155/2017/1092838>.

10. **Raychev T.** Physicochemical reclamation of saline soils using coal powder / Popandova S., Józefaciuk G., Hajnos M., Sokółowska Z. // International Agrophysics. – 2001. – V. 15. – N1. – P. 51-54.

Criteria of Authorship

Kasyanov A.E., Ismail Kheba performed theoretical and experimental research, on the basis of which they conducted a generalization and wrote the manuscript. Kasyanov A.E., Ismail Kheba, have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 15.03.2022

Approved after reviewing 18.04.2022

Accepted for publication 25.04.2022