

- чева, С.Б. Адыев, А.Г. Блохин // Природообустройство. 2025. № 2. С. 6–14. DOI: 10.26897/1997-6011-2025-2-6-14. EDN KHNVTAT.
7. Бубер А.А., Лытов М.Н., Меньшикова С.А. Концептуальные подходы к проектированию комплексных мелиораций на уровне агро- и микроагроландшафтов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 6(78). С. 367–376. DOI 10.32786/2071-9485-2024-06-40. EDN OQORPM.
8. Мелиоративные технологии повышения плодородия почв и конструкции гидромелиоративных систем / Л.В. Кирейчева, В.А. Шевченко, А.М. Соловьев [и др.] // Научное обоснование развития мелиорации, водного хозяйства и орошаемого земледелия. М.: ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2024. С. 12–183. EDN DSKNHE.
9. Интеллектуальная система поддержки принятия решений для управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом: к 100-летию Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова / С.Д. Исаева, Э.Б. Дедова, А.В. Матвеев [и др.]. М.: ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2024. 204 с. ISBN 978-5-907464-78-0. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2024.19.62.001. EDN ZTXNHM.
10. Моделирование природно-техногенных процессов в мелиоративно-водохозяйственном комплексе / В.А. Шевченко, Г.И. Бондарева, Э.Б. Дедова [и др.]. М.: ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2025. 231 с. ISBN 978-5-907464-75-9. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2025.48.97.001. EDN VFODYW.
11. Kacimov A., Obnosov Yu., Nikonenkova T., Smagin A. Analytical and HYDRUS-2D models of seepage from buried trapezoidal ditches as subsurface capillarity-driven irrigating units. // Modeling Earth Systems and Environment. 2025 a. 11:136, 11 p. <https://doi.org/10.1007/s40808-025-02301-6>.
12. Smagin A.V. A physically based model for the entire soil water retention curve // Soil Sci. Soc. Am. J. 2025, Vol. 89: e70054. P. 1–24. <https://doi.org/10.1002/saj2.70054>
13. Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Kirichenko A.V., Egorov Yu.V., Vityazev V.G., Bashina A.S. Dependence of the Osmotic Pressure and Electrical Conductivity of Soil Solutions on the Soil Water Content // Eurasian Soil Sci., 2018, Vol. 51, No. 12, pp. 1440–1451. <https://doi.org/10.1134/S1064229318120128>
1. Shabanov V.V., Golovnov A.I. Some aspects of precise land reclamation // Environmental management. 2019. No. 1. Pp. 92–96. EDN AWUSTT.
2. Effective water use in irrigation: theoretical and applied aspects / S.D. Isaeva, A.L. Buber, A.O. Shcherbakov [et al.]. M.: A.N. Kostyakov All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, 2022. Pp. 241–248. ISBN 978-5-907464-26-1. EDN PQZBJP.
3. Khismatullin M.M., Lukmanov A.A., Khismatullin M.M. [Current state and economic efficiency of reclamation agriculture in the Republic of Tatarstan in conditions of increasing climate aridity] // Agrarian Science. 2024. No. 5. Pp. 136–143. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-382-5-136-143. EDN IZHR.
4. Technology of management of systemic water use using artificial intelligence methods and organization twin models / D.A. Rogachev, L.V. Kireicheva, I.F. Yurchenko, A.F. Rogachev // International Agricultural Journal. 2024. № 4(400). Pp. 404–410. DOI: 10.55186/25876740_2024_67_4_404. EDN WCANWT.
5. Optimization of the distribution of limited water resources by methods of evolutionary genetic programming / L.V. Kireicheva, D.A. Rogachev, I.F. Yurchenko, A.F. Rogachev // International Agricultural Journal. 2024. № 2(398). Pp. 233–238. DOI: 10.55186/25876740_2024_67_2_233. EDN GABJE.
6. The intelligent subsystem of technical operation of the automated control system «Water use of the irrigation system» / D. A. Rogachev, L. V. Kireicheva, S. B. Adyaev, A. G. Blokhin // Environmental management. 2025. No. 2. Pp. 6–14. DOI: 10.26897/1997-6011-2025-2-6-14. EDN KHNVTAT.
7. Buber A.A., Lytov M.N., Menshikova S.A. Conceptual approaches to the design of complex land reclamation at the level of agro- and microagrolandscapes // Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2024. № 6(78). Pp. 367–376. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-06-40. EDN OQORPM.
8. Land reclamation technologies for increasing soil fertility and the design of hydro-reclamation systems / L.V. Kireicheva, V.A. Shevchenko, A.M. Soloviev [et al.] // Scientific substantiation of the development of land reclamation, water management and irrigated agriculture. M.: A.N. Kostyakov Federal State Budgetary Scientific Research Center VNIIGIM, 2024. Pp. 12–183. EDN DSKNHE.
9. Intelligent decision support system for the management of the melioration and water management complex: on the 100th anniversary of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov / S.D. Isaeva, E.B. Dedova, A.V. Matveev [et al.]. M.: Scientific Research All-Russian Institute of Hydraulic Engineering and Melioration A.N. Kostyakov, 2024. 204 p. ISBN 978-5-907464-78-0. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2024.19.62.001. EDN ZTXNHM.
10. Modeling of natural and man-made processes in the reclamation and water management complex / V. A. Shevchenko, G. I. Bondareva, E. B. Dedova [et al.]. M.: A.N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, 2025. P. 231. ISBN 978-5-907464-75-9. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2025.48.97.001. EDN VFODYW.
11. Kasimov A., Obnosov Yu., Nikonenkova T., Smagin A. Analytical and HYDRUS-2D filtration models from buried trapezoidal ditches as underground irrigation systems with capillary drive // Modeling of terrestrial systems and the environment. 2025, issue 11:136, 11 p. <https://doi.org/10.1007/s40808-025-02301-6>.
12. Smagin A.V. A physically sound model for the entire soil moisture retention curve // Soil Science. Soc. Am. J. 2025, Volume 89: e70054. Pp. 1–24. <https://doi.org/10.1002/saj2.70054>
13. Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Kirichenko A.V., Egorov Yu.V., Vityazev V.G., Bashina A.S. Dependence of osmotic pressure and electrical conductivity of soil solutions on the water content in the soil // Eurasian Soil Science., 2018, Volume 51, No. 12. Pp. 1440–1451. <https://doi.org/10.1134/S1064229318120128>

REFERENCES

УДК 504.064.4:504.4.062.2:504.455

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-3-7-10

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АЭРАЦИИ ПРИДОННЫХ СЛОЕВ ВОДЫ В УСЛОВИЯХ ТЕРМОКАМЕРЫ

П.А. МИХЕЕВ, Х. ИСМАИЛ

Ключевые слова: устройство для аэрации, термокамера, температура, пузырьки воздуха, выпускной клапан.

Keywords: aeration device, thermal chamber, temperature, air bubbles, exhaust valve.

Аннотация. Лабораторные исследования выполнялись на модели устройства, установленной в термокамере, в которой создавался температурный режим в диапазоне температур от 15 до 50 °С, в процессе повышения температуры воздух поступал в емкость с водой. Процесс выделения воздуха устройством фиксировался и оценивался методом пузырьков и методом водоизмещения. В условиях термокамеры подтверждена возможность насыщения воды воздухом с помощью устрой-

ства для аэрации придонных слоев воды принцип работы, которого основан на использовании энергии солнца.

Abstract. Laboratory studies were performed on a model of the device installed in a thermal chamber, in which a temperature regime was created in the temperature range from 15 to 50 °C. During the temperature increase, air was supplied to a container with water. The process of air release by the device was recorded and evaluated by the bubble method and the displacement method. Under the conditions of a thermal chamber, the possibility of saturating water with air using a device for aeration of bottom layers of water has been confirmed, the principle of operation of which is based on the use of solar energy.

Введение. Происходящие изменения климата связаны, прежде всего, с повышением температуры, что существенно влияет на экологическое состояние водных объектов и, в первую очередь, пресноводных источников питьевого и хозяйственного назначения. В этих условиях сохранение объектов водного хозяйства, в соответствии с нормативами основных показателей качества воды, является важной научной и технической задачей. Как известно одним из основных показателей качества воды естественных водоисточников является содержание растворенного кислорода [1, 2]. Среди существующих подходов и технических решений, обеспечивающих повышения растворенного кислорода, технология аэрация воды является наиболее распространенной. При этом, несмотря на многообразие существующих способов, и технических решений для аэрации воды, основными критериями выбора конструкций аэраторов являются их надежность и энергетические показатели [3]. Современными тенденциями в разработке и применении конструкций аэраторов являются, так называемые энергонезависимые решения, основанные на использовании возобновляемых источников энергии, прежде всего, солнечной радиации [4–6]. Традиционно системы энергонезависимости на основе солнечной энергии, в том числе и для аэрационных систем, основаны на комплексе солнечных батарей и других элементов, способных генерировать, хранить и использовать энергию. В работе представлены результаты лабораторных исследований устройства

для аэрации придонных слоев воды, основанного на использовании прямой солнечной энергии [7].

Целью лабораторных исследований являлось установление основных закономерностей и технических возможностей устройства для аэрации придонных слоев воды в режиме работы термокамеры.

Материал и методы исследований. Устройство для аэрации придонных слоев воды, в соответствии с патентом на полезную модель, состоит из емкости-накопителя, в верхней части которой установлен выпускной клапан для воздуха, а в нижней трубка-воздуховод, по которой воздух, при нагревании емкости-накопителя в дневное время, поступает в толщу водоема, насыщая кислородом придонные слои воды [7]. В ночное время суток воздух в емкости-накопителе охлаждается, давление внутри снижается, выпускной клапан открывается, и атмосферный воздух заполняет полость емкости.

Исследования устройства для аэрации придонных слоев воды проводились в лаборатории гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в период с декабря 2023 г. по апрель 2024 г.

Для проведения лабораторных исследований изготовлена термокамера, состоящая из деревянного каркаса размером 70×70×70 см, покрытого изнутри отражающим фольгированным утеплителем толщиной 10 мм. Внутри камеры размещалась экспериментальная модель устройства для аэрации придонных слоев воды (рис. 1).

Для поддержания стабильной температуры внутри термокамеры у задней стенки установлены вентилятор и четыре лампы накаливания мощностью 95 Вт, подключенные к регулятору температуры, установленному на внешней поверхности термокамеры, который, в свою очередь, содержал датчик для измерения температуры в диапазоне 0...100 °С и управления работой ламп накаливания, размещенный внутри термокамеры. Воздух, активированный вентилятором, направлялся непосредственно к лампам, что позволяло равномерно распределять выделяемое ими тепло внутри термокамеры.

Лицевая сторона термокамеры выполнена в виде смотровой панели из прозрачного оргстекла толщиной 5 мм, для визуального наблюдения и снятия показателей измерительных приборов. В центре верха и днища камеры выполнены сквозные отверстия диаметром 10 мм для вывода трубок, соответственно выпускного и выпускного клапанов модели, снизу, под термокамерой установлена стеклянная емкость с водой, в которую погружался воздуховод с выпускным клапаном.

Лабораторная установка оборудована спиртовыми термометрами для измерения температуры внутри термокамеры и в корпусе модели устройства для измерения температуры внутри емкости-накопителя, время фиксировалось с помощью секундомера.

Модель устройства для аэрации придонных слоев воды представляет собой металлический цилиндрический корпус емкости-накопителя, снизу и сверху которого расположены штуцеры, соединенные пластиковыми трубками, соответственно с выпускным и выпускным клапаном. Для увеличения поглотительной способности теплового излучателя и последующего излучения тепла молекулами воздуха емкости-накопителя корпус

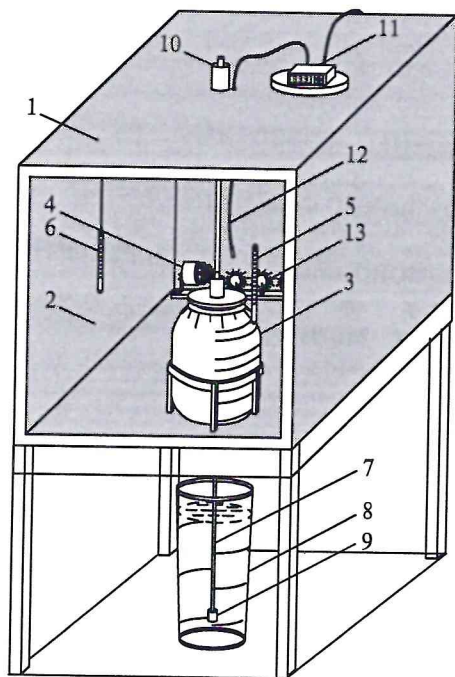


Рис. 1. Экспериментальное устройство для аэрации придонных слоев воды в термокамере:

- 1 — корпус термокамеры; 2 — смотровая панель; 3 — модель емкости-накопителя; 4 — вентилятор; 5 и 6 — термометры, соответственно в полости модели и термокамере; 7 — трубка воздуховода; 8 — сосуд с водой; 9 — выпускной клапан; 10 — впускной клапан; 11 — регулятор температуры; 12 — датчик регулятора; 13 — лампы накаливания

последней окрашен в черный цвет. В лабораторных экспериментах использовались три емкости-накопителя объемом 6,5; 10 и 13,5 л, внешнем диаметром 18,5; 25,3 и 25 см и высотой 24; 20 и 27,5 см соответственно.

Остальные параметры установки во всех опытах были одинаковыми: внутренний диаметр трубки-воздуховода 7 мм; длина трубки 80 см, погружение выходного отверстия клапана под уровень воды в емкости составлял 60 см.

Диапазон температуры воздуха внутри термокамеры поддерживался нагревателем автоматически, так что температура воздуха на протяжении всего эксперимента колебалась от 15 до 50 °С.

В ходе экспериментов основными параметрами, характеризующими работу установки, являлись продолжительность работы устройства и объем воздуха, выходящего в воду из емкости-накопителя, при этом объем воздуха определялся двумя методами.

Первый – метод фиксации, с помощью видеосъемки и последующего использования техники замедления видеозаписи для оценки количества пузырьков, выходящих из трубки-воздуховода, и дальнейшим пересчетом объема воздуха через количество пузырьков, при условии, что средний диаметр одного пузырька принимается равным внутреннему диаметру трубки [8–10]. Методика проведения экспериментов основывалась на материалах и опыте исследований проведенных авторами ранее [11].

Второй метод водоизмещения – один из простых и распространенных, используемых для определения объема газа, выделяющегося в жидкой среде в научной практике [12]. Расход выделяемого воздуха определялся с помощью стеклянного мерного сосуда объемом 2000 см³, который погружался под уровень емкости с водой и заполнялся водой до полного отсутствия воздуха (рис. 2).

Затем сосуд переворачивался вверх дном и поднимался над уровнем воды в емкости. На боковой поверхности мерного сосуда нанесены деления с ценой одного деления 10 см³. Под горловину мерного сосуда подводился штуцер выходного клапана, таким образом, чтобы весь выходящий из емкости-накопителя воздух попадал в мерный сосуд.

После завершения процесса выделения воздуха мерный сосуд поднимался, уровни воды в сосуде и емкости выравнивались, по шкале мерного сосуда определялся объем вытесненной воды. Таким образом, объем воздуха, вышедший из емкости-накопителя в процессе работы устройства, определялся равным объему воды, вытесненной из мерного сосуда.

Результаты исследования и их обобщение. Основным параметром при оценке эффективности работы устройства принят объем воздуха, вышедшего из емкости за время работы устройства. Поэтому в ходе каждого опыта фиксировались: мо-

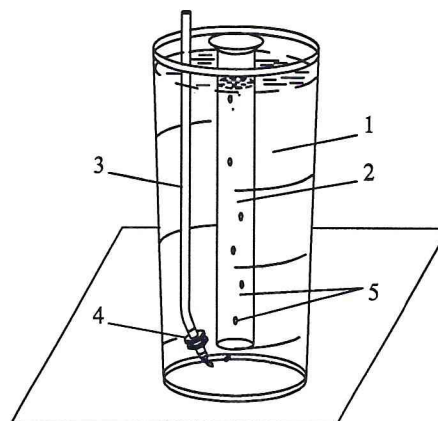


Рис. 2. Измерение расхода выходящего воздуха методом водоизмещения:

1 – емкость с водой; 2 – мерный сосуд; 3 – воздуховод; 4 – выпускной клапан; 5 – пузырьки воздуха

мент времени, когда в термокамере включался нагреватель; время, прошедшее с момента включения нагревателя до момента выхода первого пузырька воздуха в воду; температура воздуха внутри баллона в этот момент; время между выходом первого пузырька и моментом, когда интенсивность выхода пузырьков стабилизировалась, а также температура воздуха внутри баллона в этот момент.

Результаты обработки данных экспериментов по определению двумя методами объема воздуха, вышедшего при нагревании модели емкости-накопителя приведены в таблице.

Как видно из таблицы, относительное отклонение в определении объема воздуха в опытах разными методами не превышает 10 %, при этом результаты полученные методом пузырьков во всех опытах несколько выше, чем методом водоизмещения, поэтому в последующем использовались оба метода.

Если сравнивать серии опытов с клапаном и без клапана, то объем выходящего воздуха при наличии клапана во всех опытах больше, однако это превышение колеблется в пределах от 2,4 до 3,3 %, в этой связи можно предположить, что разница в сериях связана с объемом воздуха находящегося в воздуховоде после закрытия клапана.

Выводы. Лабораторными исследованиями экспериментальной установки устройства для аэрации придонных слоев воды по оценке объемов выходящего воздуха установлено, что в зависимости от типоразмера емкости-накопителя при температуре воздуха в термокамере 50 °С продолжительность процесса выделения воздуха не пре-

Данные опытов по оценке объема воздуха при работе устройства для аэрации придонных слоев воды

Объем емкости, л	Серия опытов*	Температура воздуха в термокамере и при выходе пузырьков, °С			Время выхода пузырьков воздуха, с		Опытный объем воздуха методом, мл		Относительное отклонение, %
		В камере	Первого	Последнего	Начало	Окончание	объемным	пузырьков	
6,5	А	33	20	45	320	1244	800	856	6,5
	Б	29	18	47	284	1244	820	885	7,3
10,0	А	44	25	53	400	1450	1260	1300	3,1
	Б	41	24	55	356	1459	1300	1330	2,2
13,5	А	45	26	56	432	1652	1540	1550	0,6
	Б	44	24	59	383	1678	1580	1595	0,9

* А – без клапана; Б – с клапаном.

вышала получаса, при этом объем выходящего воздуха также зависел от рабочего объема емкости-накопителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бреховских В.Ф. Гидрофизические факторы формирования кислородного режима водоемов / Отв. ред. В.К. Дебольский, А.Г. Кочарян. М.: Наука, 1988. 166 с. ISBN 5-02-003356-1.

2. Белковский Н.М. Активизация процессов биологической очистки и аэрация водных объектов как важнейший путь реабилитации городских водоемов // Сборник трудов VIII Международного конгресса «Чистая вода. Казань» 30 ноября – 1 декабря 2017 г. Казань: Новое знание, 2017. С. 88–89. ISBN 978-5-9909515-5-6. <http://средвольтводхоз.рф/cw2017.pdf>.

3. Серпокрялов Н.С., Смоляниченко А.С., Лесников И.И. Сравнительная оценка аэраторов для очистки сточных вод по обобщенному критерию аэрации // Вестник СГАСУ: Градостроительство и архитектура. 2011. № 2. С. 97–100.

4. Патент на полезную модель № 147539 Российская Федерация, МПК C02F 7/00. Солнечная аэрационная система: № 2014108251/05: заявл. 04.03.2014; опубл. 10.11.2014 / Н.Н. Крамчанинов, Т.Г. Болотских, С.М. Лутовинов [и др.].

5. Патент на полезную модель № 52848 Российская Федерация, МПК C02F 7/00. Солнечная аэрационная система: № 2005137198/22: заявл. 30.11.2005; опубл. 27.04.2006 / В.И. Виссарионов, Д.Н. Кунакин.

6. Лазарев-Марченко С.А. Разработка и исследование режимов плавучей аэрационной установки с питанием от солнечных фотоэлектрических батарей // Вестник Московского энергетического института. 2007. № 3. С. 88–93.

7. Патент на полезную модель № 214200 Российская Федерация, МПК C02F 7/00, B01F 23/231. Устройство для аэрации придонных слоев воды: № 2022112382: заявл. 06.05.2022; опубл. 14.10.2022 / В.В. Петрашкевич, П.А. Михеев, Д.М. Бенин [и др.].

8. Gaddis E.S., & Vogelphohl A.J. C. E. S. Bubble formation in quiescent liquids under constant flow conditions // Chemical Engineering Science. 1986. Vol. 41(1). P. 97–105.

9. Badam V.K., Buwa V., Durst F. Experimental Investigations of Regimes of Bubble Formation on Submerged Orifices Under Constant Flow Condition // The Canadian Journal of Chemical Engineering. 2008. Vol. 85, Issue 3. P. 257–267.

10. Викулина В.Б., Инешина Л.В. Теоретические исследования движения пузырьков воздуха в потоке воды при аэрации // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2019. № 10. С. 22–24.

11. Исмаил Х., Али М.С., Михеев П.А. Лабораторные исследования устройства для аэрации водоемов с использованием солнечной радиации в условиях Сирии // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 2. С. 128–138. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-128-138>.

12. Brack, P., Dan, S., Wijayantha, K. U., Adcock, P., & Foster, S. (2016). A simple, low-cost, and robust system to measure the volume of hydrogen evolved by chemical reactions with aqueous solutions // JoVE (Journal of Visualized Experiments), (114), e54383.

REFERENCES

1. Brekhovskikh V.F. Hydrophysical factors of the formation of the oxygen regime of reservoirs / Ed. by V.K. Deboisky, A.G. Kocharyan. M.: Nauka, 1988. 166 p. ISBN 5-02-003356-1.

2. Belkovsky N.M. Activation of biological purification processes and aeration of water bodies as the most important way of rehabilitation of urban reservoirs // Proceedings of the VIII International Congress «Clean Water. Kazan» November 30 – December 1, 2017. Kazan: Novoe Znanie, 2017. Pp. 88–89. ISBN 978-5-9909515-5-6. <http://средвольтводхоз.Russian Federation/cw2017.pdf>.

3. Serpokrylov N.S., Smolyanichenko A.S., Lesnikov I.I. Comparative assessment of aerators for wastewater treatment according to a generalized aeration criterion // Bulletin of SSASU: Urban Planning and Architecture. 2011. No. 2. Pp. 97–100.

4. Utility Model Patent No. 147539 Russian Federation, IPC C02F 7/00. Solar mobile aeration system: No. 2014108251/05: application 04.03.2014; published 10.11.2014 / N.N. Kramchaninov, T.G. Bolotskikh, S.M. Lutovinov [et al.].

5. Utility Model Patent No. 52848 Russian Federation, IPC C02F 7/00. Solar aeration system: No. 2005137198/22: application no. 11/30/2005; published 04/27/2006 / V.I. Vissarionov, D.N. Kunakin.

6. Lazarev-Marchenko S.A. Development and research of modes of a floating aeration plant powered by solar photovoltaic batteries // Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute. 2007. No. 3. Pp. 88–93.

7. Utility Model Patent No. 214200 Russian Federation, IPC C02F 7/00, B01F 23/231. Device for aeration of bottom layers of water: No. 2022112382: published on 05/06/2022; published on 10/14/2022 / V.V. Petrashevich, P.A. Mikheev, D.M. Benin [et al.].

8. Gaddis E.S., & Vogelphohl A.J. C. E. S. Bubble formation in quiescent liquids under constant flow conditions // Chemical Engineering Science. 1986. Vol. 41(1). P. 97–105.

9. Badam V.K., Buwa V., Durst F. Experimental Investigations of Regimes of Bubble Formation on Submerged Orifices Under Constant Flow Condition // The Canadian Journal of Chemical Engineering. 2008. Vol. 85, Issue 3. P. 257–267.

10. Vikulina V.B., Ineshina L.V. Theoretical studies of the movement of air bubbles in a stream of water during aeration // Plumbing, heating, air conditioning. 2019. № 10. Pp. 22–24.

11. Ismail Kh., Ali M.S., Mikheev P.A. Laboratory studies of devices for aeration of reservoirs using solar radiation in Syria // Irrigation and hydraulic engineering. 2024. Vol. 14, No. 2. Pp. 128–138. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-128-138>

12. Brack, P., Dan, S., Wijayantha, K. U., Adcock, P., & Foster, S. (2016). A simple, low-cost, and robust system to measure the volume of hydrogen evolved by chemical reactions with aqueous solutions // JoVE (Journal of Visualized Experiments), (114), e54383.

Михеев Павел Александрович, доктор техн. наук, профессор, кафедра сельскохозяйственного строительства и экспертизы объектов недвижимости, mikheev.pa@gmail.com; **Исмаил Хусейн**, аспирант, husseinishmaeil93@gmail.com (Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва).

УДК 627.157:002.637 (282.247.41)

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-3-10-15

СЕЗОННАЯ МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ БАСЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Г.Ю. ТОЛКАЧЕВ, Э.Б. ДЕДОВА, Т.А. ИЛЬИНА, Е.Н. ГЕТЬМАН

Ключевые слова: тяжелые металлы, водные объекты, весенние паводки, природно-техногенные системы, мониторинг.

Keywords: heavy metals, water bodies, spring floods, natural and man-made systems, monitoring.

Аннотация. Последние века, и особенно последние десятилетия проявили себя весьма результативно относительно загрязнения окружающей среды вследствие индустриализации. Тяжелые металлы, попадающие в результате такой деятельности на дневную поверхность, мигрирующие в ее пределах до базисов эрозии – водных объектов нередко создают нежелательно высокую их концентрацию для биоты в широком понимании этого термина. Рассмотрены различные природно-техногенные объекты в режиме мониторинга – это сельхозугодья при аномальных весенних паводках и водные объекты в период открытой водной поверхности. В течение работ рассмотрены псевдозакрытая и откры-

тая природно-техногенные системы. Представлены сезонные варианты вторичного загрязнения водной толщи и факторы, его определяющие.

Abstract. The last centuries, and especially the last decades, have proved to be very effective in terms of environmental pollution due to industrialization. Heavy metals that fall on the daytime surface as a result of such activities, migrating within its limits to the bases of erosion – water bodies often create an undesirably high concentration of them for biota in the broad sense of the term. Various natural and man-made objects in the monitoring mode are considered – these are farmlands during abnormal spring floods and water bodies during the period of open water surface. During the work, pseudo-closed and open natural and man-made systems were considered. Seasonal variants of secondary pollution of the water column and the factors determining it are presented.