

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ

© Н. В. Олейник<sup>1</sup>✉, А. В. Осадчая<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», Луганск, Российская Федерация;

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова», Луганск, Российская Федерация

✉nataliiaoliinyk80@mail.ru

**Ключевые слова:** гидрохимический режим водной среды; нитрификация; осетровые; токсичные соединения; установка замкнутого водоснабжения; фиторемедиация.

**Аннотация:** Представлен сравнительный анализ степени загрязненности химическими соединениями исходной водопроводной воды и воды в бассейне с осетровыми. Высокое содержание нитрит-, нитрат-, хлорид-, сульфат- и фосфат-ионов в водной среде обитания осетровых и на всех стадиях биологической очистки обуславливает необходимость подбора водных растений для очистки воды в установке замкнутого водоснабжения. Микрофлора в биологических фильтрах преобразует часть токсических метаболитов гидробионтов в менее токсичные соединения, которые усваиваются растениями, очищая тем самым воду.

### Введение

В последнее время в Российской Федерации и во многих странах мира наблюдается сильный дефицит пресной воды и загрязнение водных ресурсов, что влечет за собой сокращение популяций ценных видов рыб. Использование современных установок с замкнутым циклом водоснабжения позволяет успешно культивировать как пресноводные, так и морские виды водных организмов. Так, сегодня большой популярностью пользуется выращивание в искусственных водоемах осетровых рыб, клариевого сома и тилапии.

Применение искусственных водоемов с замкнутым циклом водоснабжения позволяет осуществлять круглогодичное выращивание объектов аквакультуры независимо от климатических условий и низких температур окружающей среды, многократно превзойти традиционное интенсивное рыбоводство по продуктивности с единицы площади водоема. Кроме этого,

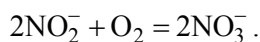
позволяет контролировать подачу и расход корма для рыб, уменьшить или полностью прекратить сброс сточных вод и упростить использование отходов жизнедеятельности рыб в качестве питательной среды для растений.

Системы замкнутого водоснабжения устанавливаются в теплоизолированных помещениях, оснащаются системой водоподготовки, контроля температуры и аэрации воды. Они представляют собой искусственную экосистему с высокой степенью замкнутости трофических цепей, которая включает основные типы живых организмов – водные животные (рыбы), растения и бактерии. Продуктами жизнедеятельности гидробионтов в воде являются растворимые азотистые, калийные, фосфорные соединения, углекислый газ, высокие концентрации которых оказывают на состояние рыбы негативное воздействие [1]. Выращивание различных видов растений в гидропонике позволяет снизить в воде концентрации перечисленных загрязняющих соединений, так как загрязненная вода является питательной средой для них. Остатки корма для рыб образуют взвеси (органическое вещество), которые накапливаются в воде, оседают на дно и загрязняют воду, делая ее более мутной.

Важным показателем оптимального режима замкнутого водоснабжения является эффективная работа фильтра биологической очистки. В биофильтре осуществляется процесс нитрификации, в результате которого нитрифицирующие бактерии рода *Nitrosomonas* окисляют катионы аммонийного азота до нитритов:



а нитрифицирующие бактерии рода *Nitrobacter* окисляют нитриты до нитратов



В анаэробных условиях гетеротрофные бактерии окисляют органическое вещество связанным кислородом нитратов и нитритов, тем самым восстанавливая ионы  $\text{N}^{+3}$ ,  $\text{N}^{+5}$  до молекулярного азота  $\text{N}_2$  и очищая воду от окисленных форм азота [2].

Анализ научных работ по теме функционирования искусственных экосистем для выращивания гидробионтов в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) показал недостаточность данных по изучению динамики гидрохимических и гидробиологических показателей оборотной воды во всех функциональных модулях системы.

*Цель исследований* – изучение гидрохимического режима водной среды обитания осетровых и поддержание допустимых условий работы УЗВ.

*Задачи исследований:*

– оценить показатели гидрохимических и гидробиологических характеристик воды в бассейне с осетровыми и в биофильтре;

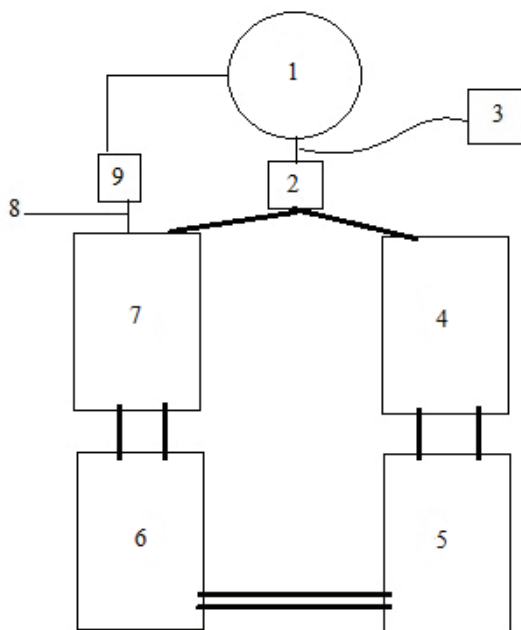
– оценить возможность выращивания различных видов растительных культур на искусственных питательных средах (без почвы, без добавления удобрений) и очистки воды фиторемедиантами.

## Материалы и методы

Стерлядь и ее гибрид – бестер являются основным объектом культивирования в лаборатории гидроэкологии и гидробиологии ФГБОУ ВО «Донбасский государственный технический университет» (Алчевск, ЛНР).

Бассейн наполняется отстоянной водопроводной водой из центральной городской системы водоснабжения и каждые десять дней вода объемом 1/3 от общего объема бассейна подменяется отстоянной водопроводной водой, к нему подключен блок терморегуляции и воздушный компрессор (аэрация воды) (рис. 1). На выходе из бассейна обратная вода очищается (механическая очистка с помощью поролона) от нерастворимых примесей крупной и средней фракции. Блок биологической очистки обратной воды представляет собой гидропонный модуль с растениями (биоплато с растениями), где обратная вода служит питательным раствором для выращивания растений, так как в ней содержатся фосфатные, азотистые и калийные соединения (основные макроэлементы для питания растений); а также модуль с пластиковой загрузкой, где микроорганизмы осуществляют процесс нитрификации и разложения органических остатков корма. Для нормального роста и развития растений над каждым гидропонным модулем монтировали по два светильника с мультиспектральными светодиодными лампами LED [1].

Отбирались образцы воды в УЗВ (в бассейне с осетровыми, биоплато с растениями, биоплато с пластиковой загрузкой, очищенная обратная вода на впуске в бассейн) для определения основных гидрохимических и гидро-



**Рис. 1. Схема установки замкнутого водоснабжения:**

- 1 – бассейн для рыб; 2 – механический фильтр; 3 – воздушный компрессор;
- 4 – модуль с пластиковой загрузкой; 5 – гидропонный модуль с фальш-дном;
- 6 – гидропонный модуль с растениями (биоплато); 7 – биофильтр;
- 8 – водоотводная труба биофильтра; 9 – вихревой электронасос

биологических показателей (рН, общая жесткость gН, O<sub>2</sub> растворимый, NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Cl<sup>-</sup>) согласно межгосударственным стандартам с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии, фотометрического и потенциометрического методов анализа воды. Для выявления сравнительной динамики накопления загрязняющих веществ в воде полученные результаты обработаны статистическими методами и представлены в виде гистограмм.

Для оценки возможности очистки оборотной воды в биофилтре от нитрит-, нитрат-, фосфат-, сульфат- и хлорид-ионов с помощью растений использовались растения с коротким периодом вегетации, а именно: сельдерей – сорт «Яблочный», шпинат – «Виктория», листовой салат – «Тайфун», руккола – «Итальянская» и «Деликатесная», базилик – «Ред Рубин» и «Фиолетовый». Определение всхожести и энергии прорастания семян проводили согласно ГОСТу 12038–84 в термостате при температуре 20 °С в чашках Петри, в которые укладывали на смоченную фильтровальную бумагу семена и закрывали стеклянными пластинками.

Пророщенные семена растительных культур пикировали на поролоне, смоченном в оборотной воде биофилтра. Когда растения подросли, их рассаживали в гидропонные плавающие установки в ячейки с керамзитом, для каждого вида растительной культуры было задействовано 28 ячеек.

### Результаты и методы

При выращивании рыбы в УЗВ необходимо следовать ряду факторов, влияющих на рост и развитие выбранных гидробионтов. В соответствии с нормативами качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения [3] необходим постоянный контроль качества воды в УЗВ по содержанию соединений аммонийного азота, нитритов, нитратов и других загрязняющих веществ с целью поддержания оптимальных условий водной среды при интенсивном выращивании рыбы.

Показатели по основным гидрохимическим и гидробиологическим параметрам, полученные в результате химического анализа отстоянной водопроводной воды и воды в бассейне с осетровыми, представлены в табл. 1. Показатели рН как в водопроводной воде, так и в бассейне находятся в пределах нормы, показатели общей жесткости превышают норму в 2,50 – 2,77 раза. Последнее подтверждает то, что повышенные показатели общей жесткости в бассейне с осетровыми связаны с загрязнением водопроводной воды водорастворимыми солями кальция и магния.

Показатели содержания азота аммиачного в водопроводной воде находятся в пределах нормы, а концентрация нитритного азота в бассейне с осетровыми превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) в 18 раз, что отрицательно влияет на темпы роста рыбы. Концентрация нитратного азота превышает норму в водопроводной воде в 9,5 раза, что обуславливает высокое содержание нитратов в водопроводной воде и необходимость очистки воды фиторемедиантами (см. табл. 1).

Таблица 1

**Показатели основных гидрохимических и гидробиологических параметров в водной среде в УЗВ**

Показатель	Отстоянная вода	Бассейн с осетровыми	ПДК для водных объектов [3]
Взвешенные вещества, мг/л	5,0 ± 0,5	11,0 ± 1,1	10
Кислотность рН	7,3 ± 0,1	7,15 ± 0,1	7,0...8,0
Общее содержание ионов железа, мг/л	0,18 ± 0,04	0,14 ± 0,03	1,0
Жесткость общая, мг/л	17,6 ± 2,64	19,4 ± 2,91	6,0...8,0
Азот аммиака, мг/л	< 0,1	0,44 ± 0,09	0,5
Азот нитритов, мг/л	< 0,003	1,8 ± 0,45	0,1
Азот нитратов, мг/л	9,52 ± 4,57	91,3 ± 22,83	1
Хлориды, мг/л	277 ± 27,7	347 ± 34,7	30
Сульфаты, мг/л	465 ± 46,5	484 ± 48,4	50
Фосфаты, мг/л	< 0,005	10,966 ± 1,072	0,3
Кислород раств., мгО <sub>2</sub> /л	10,38 ± 1,04	4,18 ± 0,42	6

Концентрация хлоридов превышает норму в водопроводной воде в 9,2 раза, а в бассейне с рыбой – в 11,6 раза. Концентрация сульфатов превышает норму в водопроводной воде в 9,3 раза, а в бассейне с осетровыми – в 9,7 раза. Это связано с высоким содержанием хлоридов и сульфатов в отстоянной водопроводной воде и обуславливает необходимость очистки воды фиторемедиантами (см. табл. 1).

Концентрация фосфатов в водопроводной воде находится в пределах нормы, а в воде бассейна превышает ПДК в 36,5 раза. Это указывает на органическое загрязнение гидроэкосистемы, связанное с поступлением в воду избыточного количества органических веществ. Повышенное содержание фосфатов может вызывать недостаток кислорода в воде, что является губительным для жизнедеятельности осетровых.

Одним из важнейших факторов водной среды для нормального и активного развития и роста осетровых рыб в УЗВ является содержание кислорода в воде, минимальное содержание которого должно составлять не менее 6 мг/л [3]. Если насыщение воды кислородом снижается по каким-либо причинам, то темп роста рыб существенно замедляется. Содержание кислорода в бассейне с осетровыми составило 4,18 мгО<sub>2</sub>/л, а в очищенной воде на впуске в бассейн – 10,64 мгО<sub>2</sub>/л (см. табл. 1).

Не менее важным фактором, оказывающим существенное влияние на выращивание рыб в УЗВ, является температурный режим. Влияние данного фактора на культивируемые в УЗВ живые организмы неоднократно изучалось многими авторами. Оптимальный температурный режим для нормальной жизнедеятельности осетровых составляет 18...26 °С, при этом наблюдается увеличенное потребление и усвоение корма с интенсивным

ростом особей [4]. В лаборатории гидроэкологии и гидробиологии температура воздуха и воды в зимнее время поддерживались в пределах 19...22 °С, в летнее – 22...24 °С [1].

На рисунке 2, *a* представлена гистограмма сравнения концентраций азотистых (ионов аммонийного, нитритного, нитратного азота) водорастворимых соединений с ПДК в воде бассейна с рыбой, плато с растениями, плато с пластиковой загрузкой и на впуске в бассейн (очищенная оборотная вода). Показано, что концентрации ионов аммонийного азота в бассейне с осетровыми и на всех уровнях биологической очистки воды колеблются в пределах 0,2...0,44 мг/л воды, что не превышает установленные ПДК [3] и не вызывает опасности для гидробионтов в отличие от других азотсодержащих соединений. Концентрации нитритов варьируют от 0,04 мг/л в очищенной воде на впуске в бассейн до 1,8 мг/л в бассейне с осетровыми, что значительно превышает ПДК в воде. Воздействие высоких концентраций нитритного азота на осетровых вызывает кровоизлияния на стенках кишечника, потемнение жаберного эпителия рыб, некроз почек.

На основании приведенных данных (см. рис. 2, *a*) концентрация нитрат-ионов в воде после биологической очистки составляет 12,61 мг/л, а в бассейне с гидробионтами – 91,3 мг/л, что подтверждает значительное превышение концентраций нитрат-ионов по сравнению с ПДК, которое негативно сказывается на росте и развитии рыбы.

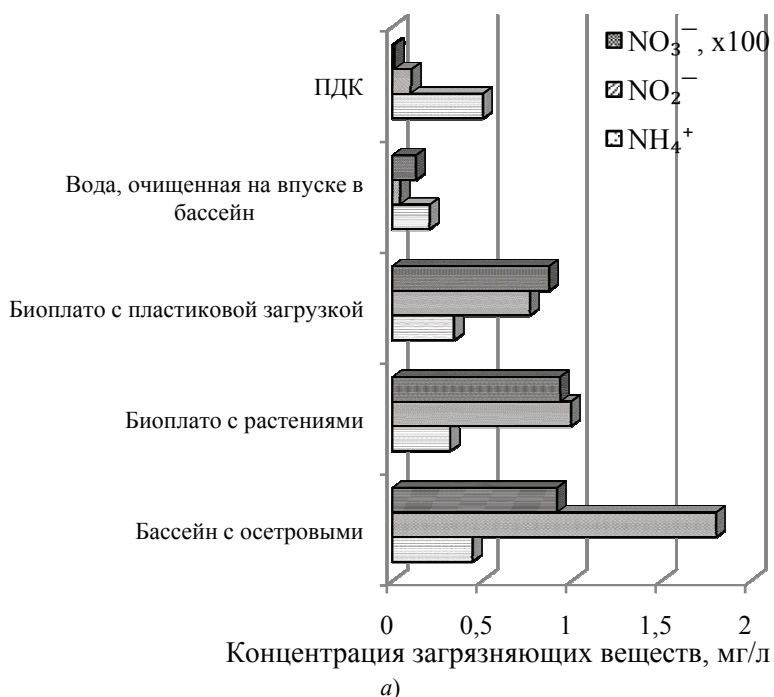
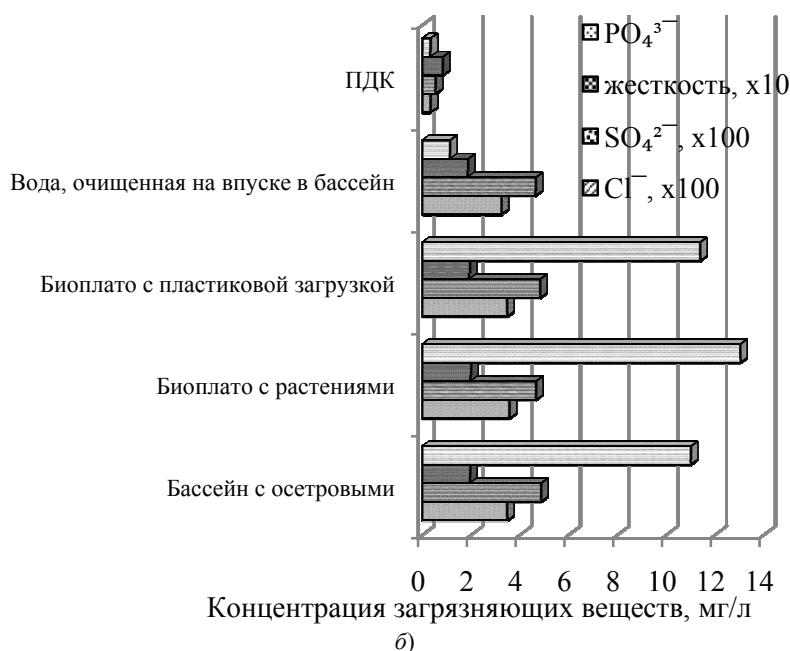


Рис. 2. Средние концентрации азотсодержащих соединений (*a*) в образцах воды в УЗВ (начало)



**Рис. 2. Окончание. Средние концентрации загрязняющих веществ (б) в образцах воды в УЗВ**

Существенное влияние на жизнедеятельность рыб имеет концентрация водородных ионов рН в воде, которая должна быть в пределах 7,0...8,0 единиц [3], что является оптимальным уровнем для активного роста и развития здоровой рыбы в УЗВ. По результатам определения рН в образцах воды в бассейне с осетровыми и на всех этапах биологической очистки показатели изменяются в пределах 7,15...7,65. Известно, что при снижении показателя до кислой среды усиливается негативное действие нитритов, а с увеличением рН в воде возрастает содержание аммиака.

Результаты химического анализа воды по содержанию фосфат-, сульфат- и хлорид-ионов, общей жесткости в бассейне с осетровыми и на всех этапах биологической очистки оборотной воды представлены на рис. 2, б. Следует отметить, что концентрации хлорид-ионов в воде превышают ПДК в 10,8 – 11,8 раза на всех участках УЗВ и необходима обязательная очистка воды, так как при увеличении уровня хлорид-ионов в плазме крови рыб выше 155 ммоль/л наблюдается гемолиз эритроцитов, что может привести к гибели рыб. Концентрации сульфат-ионов в воде превышают ПДК в 9,2 – 9,7 раза на всех участках УЗВ, поэтому необходима обязательная очистка воды, так как высокие концентрации сульфатов ведут к снижению резистентности рыб к возбудителям заболеваний и неблагоприятным условиям среды. Показатели общей жесткости в воде превышают ПДК в 2,3 – 2,45 раза на всех участках УЗВ, а концентрации фосфат-ионов – в 3,7 – 43,4 раза. Высокое содержание солей отрицательно влияет на состояние организмов и жизнедеятельность гидробионтов.

## Заключение

Согласно результатам изучения возможности выращивания в гидропонных установках биофильтра растительных культур, а именно: сельдерея, шпината, листового салата, рукколы и базилика, в качестве фиторемедиантов, получен средний прирост зеленой биомассы, что ограничивает возможность проведения полного химического анализа растений на содержание нитрит-, нитрат-, хлорид-, сульфат- и фосфат-ионов в биомассе. Необходимо дальнейшее изучение проблемы и подбор высших водных растений, таких как ряска малая, валлиснерия спиралевидная и эйхорния толсточерешковая, для извлечения из оборотной воды водорастворимых соединений азота, кальция, тяжелых металлов и сульфат-, фосфат-, хлорид-, карбонат-ионов корневой системой и максимального концентрирования их в зеленой биомассе.

### Список литературы

1. Использование компактных аквапонных систем в интегрированном рыбоводстве / С. С. Швыдченко, В. С. Федорова, И. А. Дубовик [и др.] // Научный вестник Луганского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4(17). – С. 290–302.
2. Воропаева, Н. Ю. Интенсификация процесса денитрификации при биологической очистке сточных вод / Н. Ю. Воропаева, И. Ю. Шлёкова // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2018. – № 2(13). – URL : <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2018/2/00569.pdf> (дата обращения: 04.12.2025).
3. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2016 № 552. – URL : <https://base.garant.ru/71586774/> (дата обращения: 04.12.2025).
4. Голованов, В. К. Температурный оптимум и верхняя граница жизнедеятельности осетровых видов рыб / В. К. Голованов, И. Л. Голованова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2015. – № 3. – С. 110–118.

### References

1. Shvydchenko S.S., Fedorova V.S., Dubovik I.A. [et al.], [Use of compact aquaponic systems in integrated fish farming], *Nauchnyy vestnik Luganskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Scientific Bulletin of Luhansk State Agrarian University], 2022, no. 4(17), pp. 290-302. (In Russ., abstract in Eng.)
2. Voropayeva N.Yu., Shlokova I.Yu. [Intensification of the denitrification process in biological wastewater treatment], *Elektronnyy nauchno-metodicheskiy zhurnal Omskogo GAU* [Electronic scientific and methodological journal of Omsk State Agrarian University], 2018, no. 2(13), available at: <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2018/2/00569.pdf> (accessed 04 December 2025).
3. Available at: <https://base.garant.ru/71586774/> (accessed 04 December 2025).
4. Golovanov V.K., Golovanova I.L. [Temperature optimum and upper limit of vital activity of sturgeon fish species], *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoye khozyaystvo* [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries], 2015, no. 3, pp. 110-118. (In Russ., abstract in Eng.)

## Features of Artificial Ecosystem Formation for Hydrobiont Cultivation

© N. V. Oleynik<sup>1</sup>✉, A. V. Osadchaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lugansk Vladimir Dal State University, Lugansk, Russian Federation;

<sup>2</sup> Lugansk Voroshilov State Agrarian University,  
Lugansk, Russian Federation

✉nataliaoliinyk80@mail.ru

**Keywords:** hydrochemical regime of aquatic environment; nitrification; sturgeons; toxic compounds; recirculating aquaculture system; phytoremediation.

**Abstract:** A comparative analysis of the degree of contamination by chemical compounds of source tap water and water in the sturgeon pool is presented. High content of nitrite-, nitrate-, chloride-, sulfate-, and phosphate ions in the sturgeon habitat aquatic environment and at all stages of biological treatment necessitates the selection of aquatic plants for water purification in a recirculating aquaculture system. Microflora in biological filters converts part of the toxic metabolites of hydrobionts into less toxic compounds, which are assimilated by plants, thereby purifying the water.

---

### *Сведения об авторах*

**Олейник Наталья Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры аварийно-спасательных работ, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», Луганск, Российская Федерация; ORCID 0009-0002-9583-881X; e-mail: nataliaoliinyk80@mail.ru

**Осадчая Анастасия Васильевна** – аспирант кафедры экологии и природопользования, ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет им. К. Е. Ворошилова», Луганск, Российская Федерация; ORCID 0009-0004-7749-2549; e-mail: nastena\_osadchay\_95@mail.ru

### *About the author*

**Natalia V. Oleynik** – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Department of Emergency Rescue Operations, Lugansk Vladimir Dahl State University, Lugansk, Russian Federation; ORCID 0009-0002-9583-881X; e-mail: nataliaoliinyk80@mail.ru

**Anastasia V. Osadchaya** – Postgraduate Student of the Department of Ecology and Nature Management, Lugansk Voroshilov State Agricultural University, Lugansk, Russian Federation; ORCID 0009-0004-7749-2549; e-mail: nastena\_osadchay\_95@mail.ru



© Олейник Н. В., Осадчая А. В., 2026. Данная статья находится в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии Creative Commons Attribution (CC BY) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>