



ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ECOLOGICAL BULLETIN OF DONBASS

# Экологический вестник Донбасса

№1(17)



# **Экологический вестник Донбасса**

Научный журнал  
Выходит 3 раза в год  
Основан в марте 2020 г.  
Выпуск 1 (17) 2026

# **Ecological Bulletin of Donbass**

Scientific Journal  
Publication Frequency: 3 times a year  
Established: March, 2020  
Issue 1 (17) 2026

Алчевск  
2026

УДК 504.4:598.294+614.2+631.363  
EDN: СНХВАА

**Экологический вестник Донбасса**

**Научный журнал**

Выпуск 1 (17) 2026

**Учредитель:**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донбасский государственный технический университет» при поддержке Министерства природных ресурсов и экологической безопасности ЛНР**

*Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-86349 от 30.11.2023 выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций*

*Журнал включён в наукометрическую базу данных РИНЦ*

*Рекомендовано учёным советом ФГБОУ ВО «ДонГТУ» (Протокол № 15 от 01.06.2026)*

Дата выхода: 08.06.2026

Формат 60×84%

Усл. печат. л. 9,13

Заказ № 122

Тираж 100 экз.

Отпечатано в ИПЦ ДонГТУ

Журнал распространяется бесплатно

Компьютерная вёрстка

*Исмаилова Л. М.*

Художественное оформление обложки

*Чернышова Н. В.*

Адрес учредителя, редакции, издателя и типографии:

ФГБОУ ВО «ДонГТУ»

294204, Луганская Народная Республика,

г.о. город Алчевск, г. Алчевск,

пр. Ленина, 16

E-mail: [info@dontu.ru](mailto:info@dontu.ru)

Web-site: <https://dontu.ru>

### **Главный редактор**

Смекалин Е. С. — к.т.н., доц.

### **Заместитель главного редактора**

Проценко М. Ю. — к.т.н., доц.

### **Редакционная коллегия:**

Крехтунов Е. В. — министр природных ресурсов и экологии ЛНР

Ладыш И. А. — д.с.-х.н., проф.

Зубов А. Р. — д.с.-х.н., проф.

Капранов С. В. — д.м.н.

Зинченко А. М. — к.э.н., доц.

Кусайко Н. П. — директор НЦМОС

Подлипенская Л. Е. — к.т.н., доц.

Левченко Э. П. — к.т.н., доц.

Павлов В. И. — к.т.н., доц.

Фёдорова В. С. — к.фарм.н., доц.

Гаврик С. Ю. — к.м.н., доц.

Для научных работников, аспирантов, студентов высших учебных заведений, НИИ, сотрудников предприятий, занимающихся проблемами окружающей среды, органов государственной власти.

Язык издания:  
русский, английский



<sup>1,\*</sup>Гомаль И. И., <sup>2</sup>Гулейчук Н. И.

<sup>1</sup>Донецкий национальный технический университет,

<sup>2</sup>Донецкий государственный институт проектирования шахт (Донгипрошахт)

\*E-mail: ivan.gomal.77@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ ШАХТНЫХ ВОД НА ГИДРОГРАФИЧЕСКУЮ СФЕРУ ПРИ МАССОВОЙ АВАРИЙНОЙ ЛИКВИДАЦИИ ШАХТ В ДНР

*Работа посвящена установлению характера и закономерности изменения химических свойств воды при аварийном затоплении шахт. Установлена взаимосвязь между добычей угля, откачкой шахтных вод и экологическими последствиями для водных экосистем. Определено изменение путей и характера загрязнения водных объектов шахтными водами при неплановой ликвидации шахт. Обоснована необходимость проведения постоянного мониторинга длительного влияния затопленных горных выработок на геологическую среду, гидросферу и воду в приповерхностной зоне земной коры.*

**Ключевые слова:** массовое затопление шахт, гидроэкосистема региона, химический состав шахтных вод, характер загрязнения гидросферы.

**Финансирование:** средства Республиканского бюджета Донецкой Народной Республики на выполнение научно-исследовательской работы по ведомственному заказу «Анализ источников шахтных вод в Донецкой Народной Республике и разработка предложений по их рациональному использованию».

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** В «Стратегии устойчивого развития Приазовья до 2040 года» предусмотрено оздоровление бассейнов рек, впадающих в Азовское море. Планируется выполнение мероприятий по минимизации негативного воздействия шахтных вод на региональную экологическую систему, включая строительство, реконструкцию и модернизацию водоотливных комплексов и очистных сооружений шахтных вод.

Одним из основных загрязнителей поверхностных водных объектов является угольная промышленность [1–6]. Водообеспеченность ДНР очень низкая, на ее территории находятся 4 средние реки, 850 малых рек и ручей и 840 прудов и водохранилищ [7]. В связи с засушливым летом и интенсивным отбором воды уровень воды во многих из них снизился до критической отметки. Горные отводы шахт занимают значительную площадь водосборных бассейнов рек Кальмиус, Миус и Северский Донец в ДНР.

В настоящее время в ДНР происходит как плановая, так и аварийная ликвидация шахт,

но при остановке деятельности шахт по добыче угля откачка шахтной воды не прекращается. В связи с массовой ликвидацией шахт в угольной промышленности ДНР произошла реорганизация. Ликвидируемые шахты переведены в ГУП ДНР «ГУРШ» (Государственное унитарное предприятие ДНР «Главное управление реструктуризации шахт»), водоотливные шахты преобразованы в СП ВОК ЛШ (структурное подразделение «Водоотливной комплекс ликвидируемой шахты»). И это не просто изменение названия и проведение организационных мероприятий, а существенное изменение техники и технологических схем откачки шахтной воды, которые вызваны коренным изменением задач, выполняемых данными подразделениями.

На основе гидрогеологических прогнозов были определены базовые шахты, где целесообразно построить групповые водоотливные комплексы с погружными насосами. Например, в СП «ВОК ЛШ им. М. Горького» перетекает вода из 4 шахт — «Центрально-Заводской», им. М. Горького, № 11, № 17–17 бис «Кировская».

За последнее десятилетие в ДНР кардинально изменилась система сброса шахтных вод в гидрографическую сеть, что связано с массовой ликвидацией шахт. Если ранее каждая шахта имела свои точку сброса, пруды отстойники и систему обеззараживания, то сейчас большинство водоотливов групповые, особенно при применении погружных насосов. Вода перетекает из нескольких шахт в одну водоотливную. Это приводит к изменению гидрологической картины и химических свойств откачиваемой воды и, как правило, не всегда в положительную сторону. Происходит дополнительное насыщение воды вредными химическими элементами.

Вместе с тем такая ситуация имеет и положительные стороны. Сосредоточение в одном месте стока из нескольких шахт позволяет построить более современные производительные комплексы, обеспечивающие более качественную очистку шахтных вод и уменьшение экологического ущерба.

Изучением и предотвращением загрязнения водных экосистем шахтными водами занимались многие исследователи [1, 4, 6, 8–12]. Однако данная проблема в основном рассматривалась при плановой ликвидации нерентабельных и отслуживших свой срок шахт, а сейчас в ДНР происходит массовая ликвидация шахт в аварийном режиме в условиях неопределенности. Экологические последствия данного процесса еще недостаточно изучены, и этому посвящена данная статья.

**Постановка задачи.** Шахтные воды в угледобывающих регионах оказывают существенное влияние на подземные и поверхностные воды и имеют тесную взаимную связь между собой. В сложившейся ситуации при массовой, аварийной, практически одновременной ликвидации многих шахт неясен характер изменения свойств шахтных вод и путей их поступления в поверхностные водные объекты, что является определяющим для предотвращения ухудшения гидрохимического состава водных ресурсов региона. Недо-

статочно изучено изменение свойств откачиваемых вод при обычной работе шахт и их работе в водоотливном режиме, а также в начальный период работы водоотливных комплексов после затопления шахт.

**Объект исследования** — откачиваемые шахтные воды действующих и ликвидированных угольных предприятий ДНР.

**Предмет исследования** — содержание вредных компонентов в шахтных водах и их влияние на гидроэкосистему региона.

В связи с этим **целью** настоящей работы является изучение свойств откачиваемых шахтных вод и предотвращение их негативного влияния на гидросферу региона при массовой аварийной ликвидации шахт.

**Задачи исследования:**

- установить взаимосвязь между добычей угля, откачкой шахтных вод и экологическими последствиями для поверхностных водных объектов при массовой ликвидации шахт;

- дать характеристику динамики изменения химического состава откачиваемых шахтных вод при работе шахт в обычном режиме и после их затопления и работе шахт в водоотливном режиме;

- охарактеризовать изменение химического состава откачиваемых шахтных вод в начальный период работы водоотливных комплексов после затопления шахт;

- разработать комплекс мероприятий, обеспечивающих минимальный экологический ущерб при затоплении шахт.

**Методика.** Разнообразие природных условий обусловило необходимость гидрогеологического районирования территорий, на которых осуществляется добыча угля в ДНР. В основу районирования положен ряд геолого-гидрогеологических факторов, главными из которых являются принадлежность площади района к определенной геологической структуре и наличие покровных отложений. Одновременно учитывались размеры геологических структур, углы падения и степень литификации угленосных отложений, характер и интенсивность тектонической нарушенности.

Для анализа гидрогеологических условий все действующие, закрытые, закрываемые и намечаемые к закрытию шахты ДНР, сбрасывающие шахтные воды в гидрографическую сеть, сгруппированы по географическому и гидрогеологическому признакам в 3 геолого-промышленных района (в Донецко-Макеевский входят 18 шахт, в Чистяково-Снежнянский — 12 и в Центральный — 6).

Из 7 водоотливных шахт Донецкой группы 5 сбрасывают воду в Кальмиус (объем — 2284 м<sup>3</sup>/ч). Из 11 водоотливных шахт Макеевской группы 3 непосредственно сбрасывают воду в Кальмиус (объем — 1773 м<sup>3</sup>/ч), 6 — в реку Грузская, приток Кальмиуса (объем — 2176 м<sup>3</sup>/ч), 2 — в реку Крынка, которая является притоком реки Миус, впадающей в Миусский лиман Таганрогского залива Азовского моря (объем — 502 м<sup>3</sup>/ч). Таким образом, из 18 водоотливных шахт Донецко-Макеевского района 16 сбрасывают воду в Азовское море, с суммарным объемом — 6735 м<sup>3</sup>/ч.

Суммарный объем откачиваемых шахтных вод по Чистяково-Снежнянскому району составляет 7077 м<sup>3</sup>/ч, из которых 2 шахты Снежнянской группы сбрасывают 3735 м<sup>3</sup>/ч, 5 шахт Торезской группы — 3342 м<sup>3</sup>/ч.

Шахты западной части центрального района осуществляют сброс воды в реки Бахмут, Железная, Кривой Торез, Лугань бассейна Северского Донца. Остальные шахты этого района — в реки Булавин, Садки, Ольховая, Крынка, являющиеся притоками реки Миус.

На подконтрольной территории ДНР находится 38 водоотливных шахт, которые ежегодно откачивают более 145 млн м<sup>3</sup> шахтных вод, которые в основном сбрасываются в гидросферу. Таким образом, шахтные воды являются одновременно существенным источником пополнения водных объектов на поверхности и оказывают основное негативное влияние на водосборные бассейны рек ДНР, впадающих в Азовское море.

**Изложение материала.** Рассмотрим более подробно Донецко-Макеевский район, в который входит Донецкая группа (7 шахт) и Макеевская группа (11 шахт). В таблице 1 приведены основные показатели химического состава шахтных вод Донецкой группы. Предельно допустимая концентрация (ПДК) и класс опасности вредных веществ взяты из нормативного документа [13].

Как видно из таблицы 1, практически все вредные компоненты, содержащиеся в шахтной воде, относятся ко второму классу опасности (высокоопасные вещества) и третьему (умеренно опасные вещества) [13]. Содержание взвешенных веществ, сухого остатка, натрия, магния, марганца, хлоридов, сульфатов, нитратов, жесткость общая превышают ПДК на всех шахтах группы. Это представляет существенную опасность для гидросферы региона.

Загрязнение поверхностных водоемов шахтными водами происходит несколькими путями. При традиционном контролируемом сбросе вода из шахтного водоотлива поступает в пруды-отстойники, где происходит ее осветление и очистка от взвешенных частиц, затем она поступает в хлораторную, где обеззараживается.

При плановом «мокром» способе ликвидации шахт осуществляется затопление шахты и повышение устоявшегося при использовании шахтных водоотливов уровня подземных вод. Он доводится до гидростатического уровня или до уровня безопасного для земной поверхности и экологии. Этот процесс контролируем, есть возможность следить за уровнем подземных вод и держать его на безопасном уровне.

При принятой в настоящее время стратегии ликвидации шахт водоотлив осуществляется в основном погружными насосами на базовой водоотливной шахте. При этом происходит перетекание шахтных вод из группы близлежащих гидравлически связанных между собой шахт, в результате чего происходит смешивание вод, и они резко изменяют свои свойства.

Таблица 1

Показатели химического состава шахтных вод Донецкой группы\*

Наименование предприятия	СП «ВОК ЛПШ им. А. А. Скочинского»	СП «ВОК ЛПШ «Лидевка»	СП «ВОК ЛПШ им. М. Горького»	СП «ВОК ЛПШ «Запореваляная № 2»	СП «ВОК ЛПШ № 9 «Капитальная»	СП «ВОК ЛПШ им. М. И. Калинина»	СП «ВОК ЛПШ им. А. Ф. Засядько»	Предельно допустимая концентрация	Класс опасности	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Приток шахтных вод, м <sup>3</sup> /ч	275	196	640	413	550	143	596	-	-	
Содержание взвешенных веществ, мг/дм <sup>3</sup>	36	10	62	70	105	51	94	4,25	-	
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	3420	3060	2238	298	4498	2556	2748	1000	-	
Химический состав шахтных вод	Калий, мг/дм <sup>3</sup>	7,7	8,7	5	5,0	5,4	0,555	17	30	2
	Натрий, мг/дм <sup>3</sup>	672	548	672	360	640	1429	3750	200	2
	Кальций, мг/дм <sup>3</sup>	198,7	184	80	141,0	176,5	105	990	130	н/о
	Магний, мг/дм <sup>3</sup>	146,1	14,7	77	80,8	147,3	17	86	50	3
	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	0,94	0,15	0,3	0,26	2,9	0,13	0,16	0,3	3
	Марганец, мг/дм <sup>3</sup>	0,67	-	-	-	0,348	-	-	0,1	3
	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	650	390	328	364	396	425	334	350	4
	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	1237	1395	743	1032	1970	831	1085	500	4
	Азот аммонийный, мг/дм <sup>3</sup>	0,14	н/о	0,91	0,76	1,2	н/о	0,07	0,39	3
	Нитриты, мг/дм <sup>3</sup>	0,03	<0,03	0,23	0,11	0,37	0,03	<0,03	3,0	2
	Нитраты, мг/дм <sup>3</sup>	5,4	9,4	0,9	1,2	1,6	1,5	2,4	45	3
	Жесткость общая, мг экв/дм <sup>3</sup>	10,1	20,83	7,8	13,7	20,9	10,5	12,0	7	-
Щелочность общая, мг экв/дм <sup>3</sup>	6,6	6,91	13	4,8	9,48	8,5	9,6	-	-	
pH	8	7,9	8	8	7,95	8,2	7,2	6-9	-	

\*Данные санитарно-профилактической лаборатории ОП «Управление по тушению, профилактике терриконов и рекультивации земель» ГП «Макеевуголь».

В настоящее время в связи с военными действиями происходит неконтролируемое аварийное затопление шахт, что является наиболее опасным, так как происходит в абсолютно непредсказуемой ситуации. Надшахтные здания на многих шахтах разрушены, что затрудняет доступ к шахтным стволам, которые в свою очередь завалены обломками от зданий, в них могут находиться застрявшие подъемные сосуды, оборванные канаты. Это не позволяет производить замеры реального уровня подземных вод, не говоря о размещении в аварийных стволах погружных насосов.

При единичном, даже аварийном затоплении шахты можно косвенно прогнозировать уровень ее подземных вод по уровню воды в соседних шахтах. А когда происходит массовое, практически единовременное аварийное затопление рядом расположенных шахт, что наблюдается во многих районах ДНР, это намного осложняет и усугубляет ситуацию. Уровень подземных вод повышается и при отсутствии водоотлива: неочищенная вода начинает поступать из горного массива снизу в поверхностные водоемы, ухудшая при этом качество воды в них.

Самым опасным способом попадания шахтной воды в водоемы является самоизлив воды. Так как рельеф Донбасса в основном овражно-балочный, вода при выходе на поверхность попадает по балкам напрямую в водоемы, минуя пруды-отстойники и хлораторные.

Взаимосвязь между добычей угля, откачкой шахтных вод и экологическими последствиями для водных объектов на поверхности носит знакопеременный характер во времени и в зависимости от технологических решений по водоотливу, оказывая как положительное, так и в основном отрицательное воздействие на гидросферу.

Вначале добыча угля осуществлялась не глубокими шахтами, у которых была устойчивая связь с поверхностными и подземными водами, залегающими на небольшой глубине. Эти воды пошли по линии наименьшего сопротивления и начали перетекать в образовавшиеся пустоты после выемки угля. В результате этого отмечалось исчезновение воды во многих родниках и уменьшение водотока в небольших реках.

При дальнейшем развитии угледобычи откачивалось все возрастающее количество недостаточно очищенной воды, которая сбрасывалась в гидрографическую сеть, увеличивая водоток в реках, но при этом и загрязняя их.

При закрытии шахт возможны разные варианты. При сохранении подземного водоотлива количество откачиваемой им воды со временем уменьшалось в связи с прекращением ведения очистных и подготовительных работ. При этом требуется проверка производительности водоотлива шахт с учетом планового или стихийного перетока воды из соседних шахт. Качество воды в начальный период ухудшается, затем идет стабилизация с тенденцией на улучшение. Но для осуществления этого способа требуются огромные финансовые и людские ресурсы, и его целесообразно применять, когда планируется в дальнейшем восстановление работы шахты.

Более перспективной является «мокрая» консервация с применением погружных

насосов, которая в настоящее время повсеместно применяется (в ДНР 18 ВОК) и планируется ее дальнейшее развитие. В первоначальный период вода не откачивается и происходит плановое затопление шахт. В это время вода не поступает на поверхность, не пополняет поверхностные водоемы, но и не загрязняет их.

Происходит заполнение выработанного пространства и естественных пустот в горном массиве, объем которых зависит от технических характеристик шахты (количества отработанных пластов, их мощности, размеров шахтного поля) и характеристик горного массива [3]. В среднем время достижения гидростатического уровня или выхода воды на поверхность составляет по разным источникам от 2 до 12 лет [1, 3].

Период после затопления шахты и начало откачки воды — самый опасный для экологической безопасности бассейна Азовского моря, так как значительно ухудшается качество откачиваемой воды: увеличивается минерализация, содержание железа, марганца, сульфатов и других вредных веществ [4, 5, 11].

Например, в г. Енакиево при начале откачки воды СП «ВОК ЛШ «Булавинская», в который также перетекает вода из соседних закрытых шахт «Александровская» и «Углегорская», произошло резкое изменение содержания вредных компонентов в шахтной воде. По заказу ГБУ «Донгипрошахт» в ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко» 24.12.2019 выполнен анализ общего содержания веществ неорганической природы в образцах откачиваемой воды с использованием метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (спектрометр IRIS Intrepid II XSP Duo (Thermo Electron Co, USA)).

Из результатов анализа приведем вредные вещества, содержание которых (в мг/дм<sup>3</sup>) превышают нормативы ПДК [13]. Алюминий — 0,77 (ПДК = 0,5 — превышение в 1,54 раза), железо — 72 (ПДК = 0,3 — превышение в 240 раз), марганец — 5,4

(ПДК = 0,1 — превышение в 54 раза), натрий — 938 (ПДК = 200 — превышение в 4,69 раза), сера в пересчете на сульфаты — 621 (ПДК = 500 — превышение в 1,24 раза).

Наиболее существенным является превышение железа в 240 раз, это объясняется активизацией химических реакций, протекающих в горном массиве при затоплении шахты. Закисные соединения двухвалентного железа, находящиеся в шахтной воде, неустойчивые и при свободном доступе кислорода окисляются, придавая воде характерный бурый цвет [5]. При плановой ликвидации шахт по возможности извлекают оборудование, подвижной состав, трубы, рельсы, металлическую крепь выработок. При аварийном затоплении сотни тысяч тонн металлических изделий остаются в агрессивной шахтной среде, вступают в химические реакции, повышая содержание железа в шахтной воде.

Содержание марганца в откачиваемой воде даже во время функционирования шахты «Булавинская» в 2002 г. превышало ПДК в 6 раз [14], а 2019 г. при затоплении шахты — в 54 раза. Данные о резком повышении уровня железа и марганца в шахтной воде при начале откачки воды из затопленных шахт подтверждаются многими исследователями [4, 5, 11, 15].

Сейчас в ДНР сложилась критическая ситуация, когда в результате военных действий из-за повреждения объектов и оборудования шахт, отключения электроэнергии произошло аварийное, массовое, практически единовременное прекращение работы многих шахт. Откачка воды была прекращена, затопление этих шахт носит непредсказуемый, неконтролируемый характер. Из-за повреждения стволов невозможно достоверно определить уровень затопления и куда происходит переток воды. С точки зрения экологической безопасности, это в данный момент имеет позитивный характер, так как шахтная вода не выдается на поверхность и не загрязняет водоемы. Но это отложенная экологическая проблема с трудно предсказуемыми тяжелыми последствиями.

В ближайшем будущем при достижении подземными водами планируемого уровня, если будет возможность разместить в разрушенных стволах погружные насосы и организовать водоотлив, накопленная вода, насыщенная вредными веществами, будет откачиваться на поверхность, загрязняя гидросферу. Если технически будет невозможно ввести в работу новые водоотливные комплексы, уровень воды будет повышаться, и под воздействием гидростатического давления она будет искать выход на поверхность через нарушенные зоны природного и техногенного происхождения.

При закрытии шахты «Крымская» (г. Енакиево) спустя год после расчетного срока заполнения выработанного пространства в пойме реки Ольховая произошел разрыв песчаника с вытеканием воды. Объем самоизливающихся вод составлял 40–50 м<sup>3</sup>/ч, при содержании железа 58–60 мг/дм<sup>3</sup> [15]. Также при затоплении шахты «Холодная Балка» (г. Макеевка) местные жители отмечают появление в балках некачественной воды в родниках, которая пропала десятки лет назад при начале работы шахты.

Если раньше это были единичные случаи, то при аварийном массовом закрытии шахт с большой вероятностью следует ожидать в течение ближайших лет увеличения числа случаев самоизлива сильно загрязненной шахтной воды по балкам напрямую в гидрографическую сеть. Проблема заключается в том, что практически невозможно достоверно спрогнозировать, в каком месте и когда шахтная вода выйдет на поверхность при аварийном затоплении шахт. Эта ситуация самая неблагоприятная для экологической безопасности и ее нельзя допустить. Для предупреждения этого необходимо осуществлять постоянный мониторинг мест предполагаемого самоизлива шахтных вод и при выявлении его принимать меры по снижению уровня воды в близлежащих шахтах.

Для установления зависимости изменения химического состава откачиваемых шахтных вод выполнен их анализ при ра-

боте шахт в обычном режиме (2002 г.) и после их затопления и работе шахт в водоотливном режиме (2020–2022 гг.). Для объективности взяты наиболее типичные для ДНР СП «ВОК ЛШ им. М. Горького» (г. Донецк) (табл. 2) на пологом падении и СП «ВОК ЛШ им. Ленина» (г. Горловка) на крутом падении (табл. 3).

В таблицах 2, 3 использованы результаты определения химического состава шахтных вод, выполненные санитарно-профилактической лабораторией ОП «Управление по тушению, профилактике терриконов и рекультивации земель» ГП «Макеевуголь» в течение 2020–2022 гг., результаты за 2002 г. приведены по данным работы [14].

При работе шахты в обычном режиме в шахтной воде было больше сухого остатка, хлоридов (за исключением 2 кв. 2020 г.), сульфатов, марганца, меньше содержание взвешенных веществ, а при работе в водоотливном режиме больше взвешенных веществ в среднем в 3–10 раз.

Меньшее количество вредных веществ при работе в водоотливном режиме объясняется тем, что СП «ВОК ЛШ им. М. Горького» работает уже продолжительное время и пик максимального содержания вредных веществ в воде, который всегда наблюдается при начале откачки воды, уже прошел и идет его снижение и стабилизация. СП «ВОК ЛШ им. Ленина» с погружными насосами начал работать в 1 кв. 2020 г., увеличение объема откачиваемой воды почти в 2 раза объясняется перетоком воды из соседней затопливаемой шахты «Комсомолец».

При работе шахты в обычном режиме содержание хлоридов больше (за исключением 2 кв. 2020 г.). Существенное повышение содержания марганца в 25 раз в 1 кв. 2020 г. объясняется началом откачки накопленной загрязненной воды. В дальнейшем содержание марганца соответствовало и даже было меньше ПДК. Содержание взвешенных веществ и сухого остатка практически одинаково, как при работе шахты, так и при откачке воды, в отличие от пологого падения.

Таблица 2

Показатели химического состава шахтных вод СП «ВОК ЛШ им. М. Горького» (г. Донецк)

Период времени	Объем откачанной шахтной воды, тыс. м <sup>3</sup>	Взвешенные вещества	Сухой остаток	Хлориды	Сульфаты	Азот аммония	Железо	БПК	Марганец	Фосфаты	ХПК
		ПДК вредных веществ в воде водных объектов*									
		15	1000	350	500	0,5	0,3	4,5	0,1	3,5	30
2002 г.	1550	5	2938	345	1033	-	-	-	0,98	-	-
1 кв. 2020 г.	1841	8	1477	248	489	0,7	0,2	3,0	-	1,0	-
2 кв. 2020 г.	1813	23	1748	694	301	0,3	0,1	3,7	-	1,0	10
3 кв. 2020 г.	1809	17	1667	230	467	0,1	0,1	3,9	-	0,1	15
4 кв. 2020 г.	1621	10	1399	89	734	0,2	0,1	3,2	-	0,1	14
1 кв. 2021 г.	1485	39	1957	266	733	0,3	0,7	3,5	0,1	0,1	13
2 кв. 2021 г.	1522	28	1856	106	642	0,1	0,3	2,9	0,1	0,1	18
3 кв. 2021 г.	1918	36	1367	230	698	0,1	0,6	3,3	-	0,2	19
4 кв. 2021 г.	2048	42	1971	230	726	н/о	0,3	3,6	-	0,2	18
1 кв. 2022 г.	2104	62	2032	248	723	н/о	0,1	3,4	н/о	0,2	22
2 кв. 2022 г.	2112	42	1985	204	709	0,1	0,3	3,4	0,0	0,1	20
3 кв. 2022 г.	1872	42	1985	204	709	0,1	0,3	3,4	0,0	0,1	20
4 кв. 2022 г.	1743	23	2142	266	743	0,4	0,1	3,5	н/о	0,0	25

\*СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Таблица 3

Показатели химического состава шахтных вод СП «ВОК ЛШ им. Ленина» (г. Горловка)

Период времени	Объем откачанной шахтной воды, тыс. м <sup>3</sup>	Состав шахтных вод, мг/дм <sup>3</sup>									
		Взвешенные вещества	Сухой остаток	Хлориды	Сульфаты	Азот аммония	Железо	БПК	Марганец	Фосфаты	ХПК
		ПДК вредных веществ в воде водных объектов*									
		15	1000	350	500	0,5	0,3	4,5	0,1	3,5	30
2002 г.	730	71	2670	599	1172	-	-	-	-	-	-
1 кв. 2020 г.	1219	25	1535	213	489	0,4	0,5	-	2,5	0,18	9
2 кв. 2020 г.	1521	39	2740	762	248	0,2	0,8	4,3	-	0,3	17
3 кв. 2020 г.	1526	21	2683	266	460	0,3	1,7	4,1	-	-	19
4 кв. 2020 г.	1537	32	2720	87	1842	0,2	1,7	-	-	0,05	3
1 кв. 2021 г.	1639	78	3505	177	1721	0,5	2,1	2,9	0,5	0,1	22
2 кв. 2021 г.	2213	59	3514	301	1637	1,5	0,2	3	0,46	0,05	21
3 кв. 2021 г.	2021	54	2374	177	1609	0,2	1,5	3,2	-	0,06	19
4 кв. 2021 г.	2113	74	3613	160	1546	0,4	1,6	3,8	-	0,24	21
1 кв. 2022 г.	2034	94	3202	248	1430	1,2	0,4	4,4	н/о	0,05	19
2 кв. 2022 г.	1489	57	3204	156	1516	1,9	0,3	3,9	0,1	0,1	20
3 кв. 2022 г.	1714	57	3204	156	1516	1,9	0,3	3,9	0,1	0,1	20
4 кв. 2022 г.	1679	58	3115	266	1434	1,6	1,6	3,6	0,06	0,08	19

\*СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Содержание взвешенных веществ, сухого остатка, сульфатов, железа, марганца превышает ПДК, как при работе шахты, так и при работе в водоотливном режиме.

Приведенные в таблицах 2, 3 данные показывают, что угол падения пластов существенно не влияет на общую картину изменения показателей химического состава шахтных вод. Не прослеживается также четкое влияние сезонных колебаний количества атмосферных осадков на объем откачиваемой воды и содержания в ней вредных веществ, в связи с тем, что рассматриваемые шахты вели горные работы на большой глубине (им. Горького — 870 м, им. Ленина — 1190 м).

Анализ таблиц 1–3 показывает, что нет четко прослеживаемой зависимости содержания вредных веществ в откачиваемой воде ни по Донецко-Макеевскому району в целом, ни по отдельно взятым шахтам. На данный момент невозможно достоверно установить характер и закономерности из-

менения химических свойств воды при массовом затоплении шахт. Этот процесс недостаточно изучен, является многофакторным, носит хаотичный характер, трудно поддающийся достоверному прогнозу. Поэтому необходимо организовать постоянный мониторинг длительного влияния затопленных горных выработок на геологическую среду. Для этого необходимо создание сети скважин для гидравлического наблюдения, что позволит определять величины гидравлических уклонов, скорости затопления, коэффициенты заполнения выработанного пространства, изменения химического состава подземных вод по мере поднятия уровня затопления.

Анализ результатов исследований позволил сделать следующие **выводы**:

1. Установлена взаимосвязь между добычей угля, откачкой шахтных вод и экологическими последствиями для водных экосистем, которая носит знакопеременный характер во времени и в зависимости

от технологических решений по шахтному водоотливу, оказывая как положительное, так и в основном отрицательное воздействие на гидросферу.

2. Определено изменение путей и характера загрязнения водных объектов шахтными водами при массовой аварийной ликвидации шахт.

3. Установлено, что угол падения пластов особо не влияет на общую картину изменения показателей химического состава шахтных вод. Не прослеживается также четкое влияние сезонных колебаний количества атмосферных осадков на объем откачиваемой воды и содержание в ней вредных веществ на глубоких шахтах.

4. Обоснована необходимость создания сети скважин для гидравлического наблюдения, прогнозирования и предупреждения негативных экологических последствий для поверхностных водных объектов, потому что в данный момент невозможно достоверно установить характер и закономерности изменения химических свойств воды при массовом аварийном затоплении шахт, этот процесс недостаточно изучен, является многофакторным, носит хаотич-

ный характер, трудно поддающийся достоверному прогнозу.

5. Исходя из анализа экологической и гидрогеологической обстановки в районах затопляемых шахт, с целью обеспечения минимального экологического ущерба для поверхностных водных объектов обоснована необходимость проведения постоянного мониторинга длительного влияния затопленных горных выработок на геологическую среду, гидросферу и воду в приповерхностной зоне земной коры.

6. Для полноценного решения экологических проблем, связанных с загрязнением поверхностных водоемов шахтными водами, необходима разработка региональных гидрогеологических прогнозов, которые позволят оптимизировать принимаемые решения.

В рамках дальнейшего развития исследований проблемы, рассмотренной в данной статье, планируется создание на картографической основе единой информационной базы данных, объединяющей данные об источниках, объемах, физико-химических составах и местах сброса откачиваемых шахтных вод для снижения экологического ущерба гидрографической среде.

#### Список источников

1. Дрозд Г. Я. Шахтные воды как фактор риска техногенной катастрофы для Донбасса // Сборник научных трудов ДонГТУ. 2019. № 13 (56). С. 57–761. EDN RIIIIE
2. Гавришин А. И. Состояние окружающей среды в районе угольных шахт Восточного Донбасса // Горный журнал. 2018. № 1. С. 92–96. DOI: 10.17580/gzh.2018.01.17 EDN YQGVXY
3. Доценко О. Г., Корецкая Е. Г. О проблеме водных ресурсов Донбасса и ее связи с угольной промышленностью региона // Экологический вестник Донбасса. 2024. № 3 (13). С. 22–25. EDN QTIZVL
4. Оценка воздействия процессов ликвидации угольных шахт на экологическую ситуацию в российском Донбассе / М. Д. Молев, С. А. Масленников, И. А. Занина, А. Г. Илиев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 7. С. 148–156. EDN VXWZWN
5. Одноворцова Д. С. Состав шахтных вод и их влияние на гидросферу // Система управления экологической безопасностью: сб. тр. XV междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 20–21 мая 2021 г.) Екатеринбург : УрФУ, 2021. С. 155–158. URL: [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/97881/1/sueb\\_2021\\_026.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/97881/1/sueb_2021_026.pdf) (дата обращения : 01.01.2025).
6. Головатенко Е. Л. Оценка состояния водных ресурсов на территории Донецкого региона // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2023. № 5(163). С. 118–125. EDN QEFPGS
7. О водных ресурсах Донецкой Народной Республики [Электронный ресурс] // Госкомэкополитики при главе ДНР : [сайт]. [2025]. URL: <https://gkecopoldnr.ru/o-vodnyh-resursah-doneczkoj-narodnoj-respubliki> (дата обращения 01.01.2025).

8. Формирование шахтных вод и анализ способов их очистки / А. А. Куликова Ю. А. Сергеева, Т. И. Овчинникова, Е. И. Хабарова // Горный информационно-аналитический бюллетень. М. : Горная книга, 2020. С. 135–145. EDN VNDTXW

9. Сравнительная оценка качества поверхностных и подземных вод Восточного Донбасса по гидрохимическим показателям / В. Е. Закруткин, Е. В. Гибков, Г. Ю. Складенко, О. С. Решетняк // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2016. № 2 (190). С. 91–100. DOI 10.18522/0321-3005-2016-2-91-99 EDN WBXETP

10. Баев О. А., Ладыш И. А. Динамика гидрохимических показателей качества воды рек Северский Донец и Лугань // Экологический вестник Донбасса. 2024. № 3 (13). С. 3–11. EDN WUFBNC

11. Гавришин А. И., Борисова В. Е., Торопова Е. С. Современные особенности формирования химического состава шахтных вод в восточном Донбассе // Успехи современного естествознания. 2017. № 7. С. 59–63. EDN ZBMWPJ

12. Макеева Д. А., Козырь Д. А., Гутовская О. А. Экологический мониторинг состояния водных ресурсов и маловодья реки Кальмиус // Вести Автомобильно-дорожного института. 2021. № 3 (38). С. 25–23. EDN MHRYJX

13. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 01.01.2025).

14. Программа мер по разработке и внедрению на угледобывающих предприятиях эффективных технологий и технических средств деминерализации шахтных вод : отчет о НИР (аналитическая часть) : 210-1 ПЗ / Донгипрошахт ; рук. Э. Л. Кауфман ; исполн. : С. А. Синявский [и др.]. Донецк, 2002. 86 с. Инв. № 106508.

15. Результаты мониторинга химического состава шахтных вод после затопления шахты «Крымская» / П. Г. Артеменко, О. И. Краскова, А. Б. Ягмур, Н. А. Дроздова // Труды РАНИМИ. № 23 (38). 2023. С. 202–210. DOI: 10.24412/1996-885X-2023-2338-201-210. EDN GGTPAG

© Гомаль И. И., Гулейчук Н. И., 2026

**Рекомендована к печати к.гос.упр., доц., зав. каф. «Природоохранная деятельность»  
ДонНТУ Шафоростовой М. Н.,  
к.т.н., научным руководителем МНИЛ ГПХ ДонГТУ Долгих В. П.**

Статья поступила в редакцию 10.01.2026.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Гомаль Иван Иванович**, канд. техн. наук, доцент каф. разработки месторождений полезных ископаемых

Донецкий национальный технический университет,  
г. Донецк, Россия, e-mail: [ivan.gomal.77@mail.ru](mailto:ivan.gomal.77@mail.ru)

**Гулейчук Наталья Ивановна**, главный инженер отдела строительного проектирования и инженерных изысканий

Донецкий государственный институт проектирования шахт (Донгипрошахт),  
г. Донецк, Россия

**Gomal I. I.** (Donetsk National Technical University, Donetsk, Russia, e-mail: [ivan.gomal.77@mail.ru](mailto:ivan.gomal.77@mail.ru)),  
**Guleichuk N. I.** (Donetsk State Institute of Mine Design (Dongiproshaht), Donetsk, Russia)

#### IMPACT OF MINE WATERS ON THE HYDROGRAPHIC SPHERE DURING MASS EMERGENCY LIQUIDATION OF MINES IN THE DPR

The article is concerned with identifying the nature and patterns of changes in the chemical properties of water during emergency flooding of mines. An interrelation has been determined between

coal mining, pumping-out of mine waters and environmental impacts on aquatic ecosystems. Changes in the pathways and nature of pollution of water bodies by mine waters during unscheduled liquidation of mines have been identified. The need for continuous monitoring of the long-term impact of flooded mine workings on the geological environment, hydrosphere and water in the near-surface zone of the earth's crust is substantiated.

**Key words:** mass flooding of mines, hydroecosystem of regions, chemical composition of mine waters, nature of hydrosphere pollution.

**Funding:** funds from the Republican budget of the Donetsk People's Republic for the implementation of research work on the departmental order "Analysis of mine water sources in the Donetsk People's Republic and the development of proposals for their rational use".

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Gomal Ivan Ivanovich**, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Mineral Deposits Development  
Donetsk National Technical University,  
Donetsk, Russia, e-mail: [ivan.gomal.77@mail.ru](mailto:ivan.gomal.77@mail.ru)

**Guleichuk Natalia Ivanovna**, Chief Engineering of the Department Civil Engineering and Engineering Survey  
Donetsk State Institute of Mine Design (Dongiproshaht)  
Donetsk, Russia

*Долгих В. П., Кусайко Н. П., Майборода А. Н., Черников А. О.  
Донбасский государственный технический университет  
E-mail: vidoscience@mail.ru*

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА LOWRANCE ELITE FS 9 ДЛЯ МОНИТОРИНГА МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСАКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В УСЛОВИЯХ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАСУХИ

*Изложены результаты инструментального обследования Исаковского водохранилища, выполненного в августе-сентябре 2025 года в период экстремального маловодья. Получены актуальные данные о распределении глубин, площади водного зеркала и объеме водохранилища с использованием современного эхолота-картплоттера Lowrance Elite FS 9 и программного обеспечения ReefMaster. Описана методика полевых измерений и обработки данных. Получена детальная цифровая модель рельефа дна и построены карты изобат с шагом 0,5 м. На основе измеренных данных выполнен расчет морфометрических характеристик для дискретных уровней от 92,0 до 112,0 м с шагом 0,5 м. Предложены и сопоставлены два метода экстраполяции характеристик на верхние уровни водохранилища (от 107,5 до 112,0 м): полиномиальная аппроксимация и метод, основанный на допущении о постоянном усредненном наклоне дна. Проведен анализ точности и сходимости полученных результатов с ретроспективными данными.*

**Ключевые слова:** Исаковское водохранилище, батиметрическая съемка, эхолот Lowrance Elite FS 9, ReefMaster, морфометрия водоема, экстраполяция данных, гидрологическая засуха.

**Финансирование:** исследования выполнены за счет средств федерального бюджета (код темы: FRRU-2024-0004 в ЕГИСУ НИОКТР).

**Постановка проблемы, обоснование ее актуальности.** В условиях возрастающего дефицита водных ресурсов, усугубляемого климатическими изменениями и результатами интенсивной антропогенной нагрузки, особую актуальность приобретает задача оперативного и точного контроля состояния поверхностных водных объектов [1, 2]. Исаковское водохранилище, в которое впадает река Белая (Луганская Народная Республика), является стратегическим источником водоснабжения для промышленных и коммунальных нужд региона. Засушливые периоды 2024–2025 годов привели к критическому снижению приточности и, как следствие, к сокращению полезного объема водоема [3].

Для объективной оценки состояния Исаковского водохранилища и выработки необходимых управленческих решений необходимо актуализировать информацию о морфометрических характеристиках водохранилища. Учет теоретических расчетов, полученных из проектных документов [4]

или из литературных источников, которые не подтверждены экспериментальными исследованиями, является неоправданным по причине продолжающихся русловых деформаций и процессов донного заиления. Традиционные методы промеров глубин (использование ручных лотов, специальных шестов с наметками и проч.) не позволяют с достаточной детализацией и производительностью охватить акваторию в условиях маловодья [5].

В связи с этим, **целью** настоящей работы является проведение высокоточной батиметрической съемки Исаковского водохранилища с использованием современного гидроакустического оборудования и разработка обоснованного метода экстраполяции морфометрических данных на уровнях, неохваченных прямыми измерениями для получения полной кривой объема.

**Объект исследования** — процесс батиметрической съемки Исаковского водохранилища.

**Предмет исследования** — оценка морфометрических характеристик Исаковского водохранилища.

**Задачи исследования:**

– описать аппаратно-программный комплекс для сбора и обработки морфометрических данных Исаковского водохранилища;

– по результатам исследований акватории сопоставить два метода экстраполяции морфометрических характеристик на верхние уровни водохранилища;

– выполнить анализ точности и сходимости полученных результатов с ретроспективными данными.

**Методы исследования.** Для сбора данных использовался эхолот-картплоттер Lowrance Elite FS 9 с датчиком Active Imaging 3-в-1. Данный прибор сочетает функции традиционного эхолота, сканирующего сонара бокового обзора (SideScan) и структуросканера (DownScan Imaging), а также имеет встроенный высокочувствительный GPS-приемник [6]. Основные характеристики и режимы работы прибора представлены в таблице 1.

Обработка первичных данных выполнялась в специализированном программном обеспечении ReefMaster, которое позволяет импортировать эхограммы, строить цифровые модели рельефа (ЦМР) дна, создавать карты изобат и выполнять гидростатические расчеты [7].

Обследование акватории Исаковского водохранилища проводилось в августе–сентябре 2025 года при уровне воды в первый день 107,62 м. Для простоты расчетов отсчетный уровень был принят равным 107,5 м. Датчик крепился на лодке ниже уровня воды на глубину 0,1–0,15 м. Использовались режимы Sonar и SideScan, что позволило получить массив данных о глубине с географической привязкой. Маршруты движения судна проектировались с учетом необходимости равномерного покрытия акватории. Береговая линия (нулевая изобата) была оцифрована вручную по GPS-треку и импортирована в проект в формате KML (создан в Google Earth).

Таблица 1  
Характеристики и режимы работы эхолота Lowrance Elite FS 9

Параметр	Значение/Описание
Модель	Lowrance Elite FS 9
Датчик	Active Imagine 3 в 1 (CHIRP, DownScan, SideScan)
Рабочие частоты	455/800 кГц
Формат записи данных	SD-карта
Функции	Запись эхограмм, карт-плоттер, GPS-привязка

В ReefMaster на основе точечных измерений и береговой линии построена ЦМР дна методом триангуляции с интерполяцией для областей без прямых измерений. На карту нанесены изобаты с шагом 0,5 м. Функция расчета площадей и объемов позволила получить значения для горизонтальных слоев толщиной 0,5 м. Полученные данные охватывают диапазон уровней от 93,0 м (максимальная зафиксированная глубина 14,57 м) до 107,5 м. На рисунке 1 изображены результаты обработки эхограмм в ReefMaster.

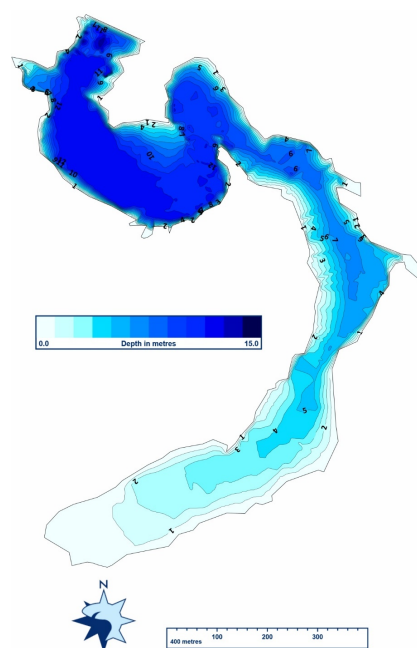


Рисунок 1 — Результаты обработки эхограмм в ReefMaster

Результатом первичной обработки стала таблица (табл. 2), содержащая для каждого полуметрового уровня значения площади водного зеркала на верхней границе слоя и объема воды в слое, а также накопленный (общий) объем водохранилища.

Для контроля точности использовались данные отчета Центральной контрольно-исследовательской проектно-изыскательской водной лаборатории (ЦКИПИВЛ) (табл. 3), которые рассматривались как ретроспективные, хотя они не привязаны к конкретному году измерений.

Поскольку прямые измерения ограничены уровнем 107,5 м, для получения характеристик до отметки 112,0 м (максимальный уровень в данных ЦКИПИВЛ) были применены два подхода к экстраполяции.

**Полиномиальная аппроксимация.** По экспериментальным точкам (табл. 2) построены графики зависимостей площади зеркала  $S(H)$  и общего объема воды  $W(H)$  от уровня  $H$ . Для каждого графика подобраны полиномиальные тренды. Для площади наилучшее приближение дал полином 2-й степени:

$$S(H) = 4,77H^2 - 804,92H + 33619. \quad (1)$$

Для объема использован полином 3-й степени:

$$W(H) = 1,49H^3 - 375,71H^2 + 31301H - 858985. \quad (2)$$

Таблица 2

Морфометрические характеристики Исаковского водохранилища по данным измерений (уровень отсчета 92,0 м)

Уровень, м	Площадь, м <sup>2</sup>	Объем слоя, м <sup>3</sup>	Общий объем, м <sup>3</sup>
93,0	107	4	4
93,5	1293	302	306
94,0	2766	1016	1322
...	...	...	...
107,0	2137871	1036977	12429172
107,5	2291917	1106421	13535593

Таблица 3

Данные площадей зеркала и объема воды в Исаковском водохранилище (отчет ЦКИПИВЛ)

Уровень, м	Площадь, тыс. м <sup>2</sup>	Объем, тыс. м <sup>3</sup>
92	0	0
93	1,5	0,34
94	95,8	49
...	...	...
107	2134	13453
108	2341	15690
109	2591	18159
110,4	2938	21136
112	3552	27397

По полученным уравнениям выполнена экстраполяция до уровня 112,0 м. На начальном этапе было обнаружено, что верхние две точки (107,0 и 107,5 м) дают завышенные значения площадей, что, вероятно, связано с погрешностью оцифровки береговой линии. Для повышения точности экстраполяции эти точки были исключены, и аппроксимация выполнена по оставшимся данным.

**Метод постоянного усредненного наклона дна.** Данный подход основан на предположении, что форма подводного склона между двумя соседними уровнями может быть упрощенно представлена плоскостью с постоянным уклоном. Если допустить, что усредненный уклон сохраняется и при переходе к следующему вышележащему уровню, то прирост площади зеркала на каждом последующем полуметровом интервале остается постоянным.

Расчет площади для уровня выполняется по формуле:

$$S_i = S_{i-1} + (S_{i-1} - S_{i-2}), \quad (3)$$

где  $S_i$  — площадь зеркала воды на уровне  $H_i$ .

Объем воды в слое между уровнями при таком допущении можно рассчитать, как объем усеченной пирамиды или, для упрощения, через среднюю площадь:

$$V_i^{\text{слой}} = (H_i - H_{i-1}) \frac{S_i - S_{i-1}}{2} = 0,5 \frac{S_i - S_{i-1}}{2}, \quad (4)$$

где  $V_i^{\text{слой}}$  — объем воды в слое с верхним уровнем  $H_i$ .

Для проверки точности метода был выполнен расчет объемов слоев по формуле (3) для всех интервалов исходных данных и сопоставлен с измеренными значениями (табл. 4). Погрешность метода для большинства слоев не превышает 1 %, за исключением нескольких первых слоев, где форма дна имеет наибольшую кривизну.

Высокие ошибки на первых двух интервалах объясняются сложной структурной формой водоема в придонной части, однако в диапазоне уровней, где требуется экстраполяция (выше 107,5 м), форма склонов становится более правильной, и метод дает достоверные результаты.

Сопоставление полиномиальных кривых, полученных по экспериментальным данным (с исключением двух верхних точек), с данными ЦКИПИВЛ представлено на рисунках 2 и 3.

Как видно из рисунка 2, полиномиальная аппроксимация дает плавное возрастание площади зеркала, однако в верхней части (выше 110 м) кривая начинает отклоняться от

ретроспективных значений, занижая площадь. Расчетный объем на отметке 112,0 м составил 25181,5 тыс. м<sup>3</sup>, что на 8,1 % ниже данных ЦКИПИВЛ (27397 тыс. м<sup>3</sup>). Это свидетельствует о недостаточной точности полиномиальной экстраполяции для прогноза емкости верхней части водохранилища.

На рисунке 4 показано сравнение кривой площадей, полученной методом постоянного наклона (с исключением двух верхних экспериментальных точек), с данными ЦКИПИВЛ. Видно, что рассчитанная площадь на отметке 112,0 м (3273,8 тыс. м<sup>2</sup>) очень близка к ретроспективной (3552 тыс. м<sup>2</sup>). Небольшое расхождение (около 8 %) может быть объяснено как погрешностями исходных данных, так и реальным изменением за прошедший период.

Таблица 4

Проверка точности расчета объема слоя по формуле средней площади

Уровень, м	Измеренный объем, тыс. м <sup>3</sup>	Расчетный объем, тыс. м <sup>3</sup>	Ошибка, %
93,5	0,302	0,350	16
94,0	1,016	1,015	0,1
94,5	1,801	1,844	2,4
95,0	22,657	40,391	78
95,5	122,477	113,58	7,3
...	...	...	...
107,0	1036,977	1035,165	0,2
107,5	1106,421	1092,473	1,3

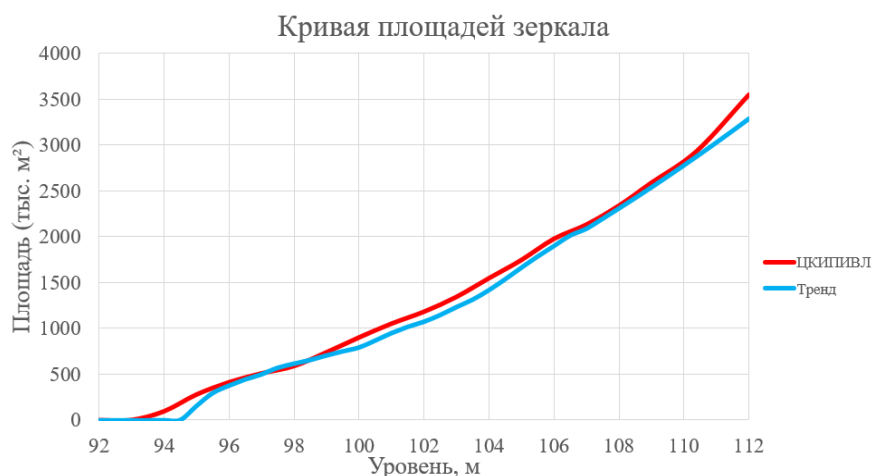


Рисунок 2 — Сопоставление графиков площадей зеркала воды



Рисунок 3 — Сопоставление графиков общего объема воды

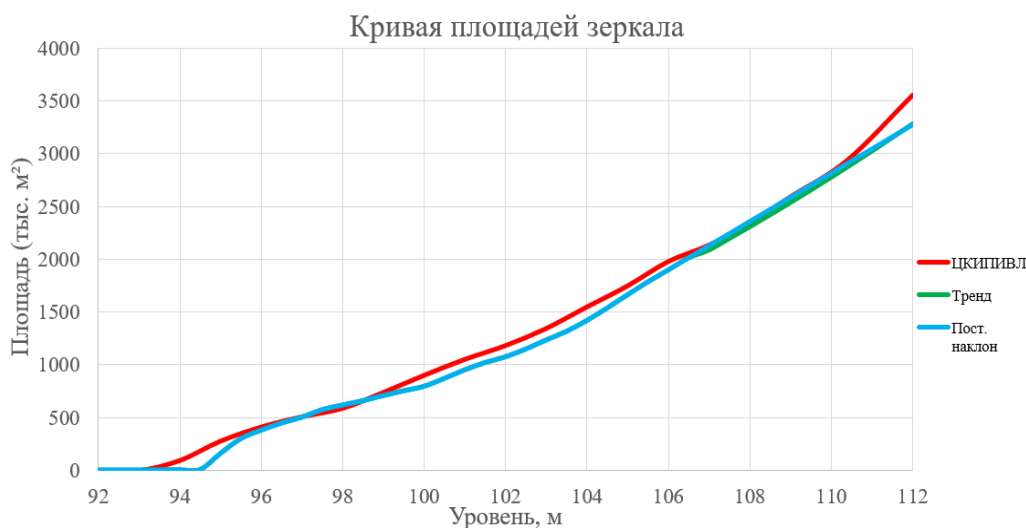


Рисунок 4 — Сопоставление графиков площадей зеркала воды

Результаты расчета объема (рис. 5) также демонстрируют высокую сходимость: расчетный объем на отметке 112,0 м составил 25946,7 тыс. м<sup>3</sup>, что лишь на 5,3 % ниже данных ЦКИПИВЛ. Учитывая неизбежные процессы заиления и переформирования дна за время, прошедшее с момента составления отчета ЦКИПИВЛ, такое расхождение следует признать вполне приемлемым, а полученную кривую объемов — достоверной для практического использования.

Сводные результаты экстраполяции по двум методам, а также отклонение от ретроспективных данных, которые получены ЦКИЛПИВЛ, представлены в таблице 5.

Проведенное исследование показало, что оба метода экстраполяции дают результаты, сопоставимые по порядку величин, однако метод постоянного усредненного наклона демонстрирует лучшую сходимость с архивными данными и более устойчив к погрешностям измерений на верхней границе исходного ряда. Это объясняется тем, что он учитывает локальную геометрию дна, экстраполируя не абстрактную кривую, а фактический тренд изменения площадей, зафиксированный в приповерхностной зоне водоема.

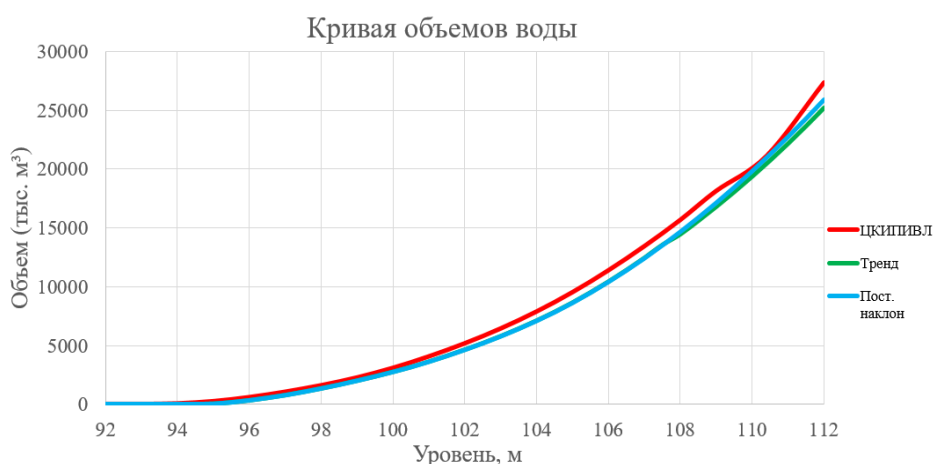


Рисунок 5 — Сопоставление графиков общего объема

Таблица 5

Сравнение результатов экстраполяции (уровень 112,0 м)

Метод экстраполяции	Площадь, тыс. м <sup>2</sup>	Общий объем, тыс. м <sup>3</sup>	Отклонение от ЦКИПИВЛ (объем)
Полиномиальный	3284,0	25181,5	-8,1
Постоянный наклон	3273,8	25946,7	-5,3
Данные ЦКИПИВЛ	3552,0	27397,0	0 (ретроспективные данные)

Полученные итоговые морфометрические характеристики представляют собой полную кривую «уровень — площадь — объем» для всего диапазона возможных уровней Исаковского водохранилища. Эти данные являются основой для:

- оперативного расчета текущих запасов воды по уровню;
- калибровки гидродинамических моделей;
- планирования работ по расчистке и дноуглублению;
- оценки потерь воды на испарение и фильтрацию.

**Выводы и направление дальнейших исследований:**

1. Выполнена высокоточная батиметрическая съемка Исаковского водохранилища с использованием современного гидроакустического комплекса Lowrance Elite FS 9. Получена детальная цифровая модель рельефа дна, построены карты изобат с шагом 0,5 м.

2. Определены морфометрические характеристики водоема для диапазона уровней от

93,0 до 107,5 м с шагом 0,5 м. Установлено, что наибольшая глубина водохранилища на момент съемки составляла 14,57 м.

3. Предложены и использованы два метода экстраполяции морфометрических данных на верхние уровни (до 112,0 м): полиномиальная аппроксимация и метод постоянного усредненного наклона дна.

4. Показано, что метод постоянного наклона обеспечивает более высокую точность и достоверность результатов при экстраполяции, давая на отметке 112,0 м объем 25,95 млн м<sup>3</sup>, что лишь на 5,3 % ниже архивных данных ЦКИПИВЛ. Это расхождение можно объяснить процессами заиления и переформирования ложа водоема за прошедший период.

5. Полученные зависимости «уровень — площадь — объем» могут быть рекомендованы для использования в системе оперативного мониторинга и управления водными ресурсами Исаковского водохранилища, а также для планирования мероприятий по его экологической реабилитации.

## Список источников

1. Долгих В. П., Ерофеева Л. К., Сергейчук О. В. Методика водно-балансового расчета гидрологических характеристик (на примере реки Белая, Луганская Народная Республика) // Экологический вестник Донбасса. 2025. № 16. С. 9–18. EDN CYDCHG
2. Жуков И. А., Айбулатов Д. Н. Тенденции изменения характеристик водного стока малых рек в бассейне Волги // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 6. С. 22–37. DOI: 10.35567/19994508-2024-6-22-37 EDN DJONZO
3. Коптева А. К. О влиянии подземной добычи угля на водные ресурсы реки Белая и наполняемость Исаковского водохранилища в Луганской народной Республике // Экологический вестник Донбасса. 2023. № 9. С. 47–55. EDN KZFWKP
4. Разработка водохозяйственных балансов Исаковского водохранилища на р. Белая Луганской области. Донецк : Укрпромводчермет, 2004. 9 с.
5. Костров А. В. Организация и проведение мониторинга состояния дна, берегов и режима использования водоохранной зоны Горьковского водохранилища // Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. Новочеркасск : Лик, 2019. С. 267–276. EDN TMTNGQ
6. Полное руководство по использованию Lowrance Elite FS9 на русском языке [Электронный ресурс] // Инструкции пользования и руководства : [сайт]. [2026]. URL: <https://instrukciyam.top/lowrance-elite-fs9-instrukciya-na-russkom-yazyke/> (дата обращения: 19.01.2026).
7. Сысоев С. Программа для построения подводных карт — REEFMASTER [Электронный ресурс] // Лига Профессиональных Рыболовов : [сайт]. [2026]. URL: <https://proanglers.ru/blog/programma-dlya-postroeniya-podvodnykh-kart-reefmaster-nachalo/> (дата обращения: 19.01.2026).

© Долгих В. П., Кусайко Н. П., Майборода А. Н., Черников А. О., 2026

**Рекомендована к печати к.т.н., директором НИПКИ «Параметр» Саратовским Р. Н., начальником производственного отдела цеха водоподготовки ООО «ЮГМК» Астаповым Ю. В.**

Статья поступила в редакцию 20.02.2026.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Долгих Виталий Павлович**, канд. техн. наук, научный руководитель Молодежной научно-исследовательской лаборатории геоэкологии и прикладной химии  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия, e-mail: [vidoscience@mail.ru](mailto:vidoscience@mail.ru)

**Кусайко Наталья Петровна**, директор Научного центра мониторинга окружающей среды, старший научный сотрудник Молодежной научно-исследовательской лаборатории геоэкологии и прикладной химии  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия

**Майборода Алексей Николаевич**, инженер-исследователь Молодежной научно-исследовательской лаборатории геоэкологии и прикладной химии  
Донбасский государственный технический университет  
г. Алчевск, Россия

**Черников Артем Олегович**, инженер-исследователь Молодежной научно-исследовательской лаборатории геоэкологии и прикладной химии  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия

**\*Dolgikh V. P., Kusayko N. P., Maiboroda A. N., Chernikov A. O.** (*Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, \*e-mail: vidoscience@mail.ru*)

**THE LOWRANCE ELITE FS 9 HYDROACOUSTIC COMPLEX IS BEING USED TO MONITOR THE MORPHOMETRICAL CHARACTERISTICS OF THE ISAKOVO RESERVOIR UNDER HYDRAULIC DROUGHT CONDITIONS**

*The results of an instrumental survey of the Isakovo reservoir, carried out in August-September 2025 during a period of extreme low water levels, are presented. Using the modern echo sounder-chartplotter Lowrance Elite FS 9 and ReefMaster software, the accurate information on depth distribution, water mirror area and reservoir volume are obtained. The method of field measurements and data processing is described. A detailed digital model of the bottom relief was obtained and isobath maps with a step of 0,5 m were compiled. Based on the measured data, the morphometric characteristics were calculated for discrete levels from 92,0 to 112,0 m with a step of 0,5 m. Two methods for extrapolating characteristics to the upper levels of the reservoir (from 107,5 to 112,0 m) are proposed and compared: a polynomial approximation and a method based on the assumption of a constant average bottom slope. An analysis of the accuracy and convergence of the obtained results with retrospective data was carried out.*

**Key words:** *Isakovo reservoir, bathymetric survey, echo sounder Lowrance Elite FS 9, ReefMaster, morphometry of waterbody, data extrapolation, hydrological drought.*

**Funding:** *the studies were carried out with funding from the federal budget (theme code: FRRU-2024-0004 in the Unified state information system for accounting the research, experimental and technical works).*

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Dolgikh Vitaliy Pavlovich**, *PhD in Engineering, Head of the Youth Research Laboratory for Geoecology and Applied Chemistry  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia, e-mail: vidoscience@mail.ru*

**Kusayko Natalia Petrovna**, *Director of the Scientific Center for Environmental Monitoring Senior Researcher of the Youth Research Laboratory for Geoecology and Applied Chemistry  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia*

**Maiboroda Aleksey Nikolaevich**, *Research Engineer of the Youth Research Laboratory for Geoecology and Applied Chemistry  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia*

**Chernikov Artem Olegovich**, *Research Engineer of the Youth Research Laboratory for Geoecology and Applied Chemistry  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia*

**Капранов С. В.**

*Центр гигиены и эпидемиологии в Луганской Народной Республике в г. Алчевске (филиал)*

*E-mail: kapranov\_sv0209@mail.ru*

## **НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

*В работе изложены теоретические основы организации и проведения государственного социально-гигиенического мониторинга (СГМ). Отмечено, что СГМ является важной составной частью системы управления здоровьем населения (СУЗ). Сформулированы понятия факторов риска и антириска для здоровья населения. На основании данных научной литературы и результатов проведенных собственных исследований составлен перечень абсолютных факторов риска и антириска среды жизнедеятельности с точки зрения оценки результатов их влияния на организм детей и подростков.*

*Разработана методология функционирования СГМ на трех основных уровнях, соответствующих административно-территориальному делению Российской Федерации. Изложена обоснованная в научном и практическом отношении последовательность действий по осуществлению мониторинга здоровья детского и взрослого населения в системе СГМ. Определены критерии мониторинга здоровья населения под влиянием различных факторов среды жизнедеятельности, которые предложено использовать как показатели (индикаторы) здоровья. Изложены основные принципы мониторинга здоровья.*

*На основании анализа зарубежного и отечественного опыта, а также результатов собственных исследований, предложены основные принципы мониторинга здоровья населения. Изложен опыт организации СГМ в промышленном городе.*

**Ключевые слова:** мониторинг здоровья населения, факторы риска и антириска, показатели здоровья детского населения.

**Постановка проблемы и обоснование ее актуальности.** Состояние здоровья населения, особенно детей и подростков, является одним из наиболее значимых социальных показателей, характеризующих уровень общественно-политического и интеллектуального развития общества, социального и духовного благополучия жителей каждого государства.

Основы здоровья взрослого человека формируются в детском возрасте. Здоровье детей является важным условием, определяющим уровень популяционного здоровья населения любой страны.

Поэтому на современном этапе в мировом сообществе все больше внимания уделяется проблемам защиты здоровья детского населения. Так, в ст. 6 Конвенции ООН о правах ребенка (1989) указано, что «государства-участники обеспечивают в максимально возможной степени выживание и здоровое раз-

витие ребенка», а согласно ст. 24 этого документа «государства-участники признают право ребенка на пользование наиболее совершенными услугами системы здравоохранения, средствами лечения болезней и восстановления здоровья; принимают меры для обеспечения осведомленности всех слоев общества, в частности родителей и детей, о здоровье и питании детей, преимуществах грудного вскармливания, гигиене, санитарии среды обитания ребенка и предупреждении несчастных случаев, для развития просветительской работы и услуг в области профилактической медицинской помощи и планирования размера семьи» [1].

Согласно ст. 10 Федерального закона Российской Федерации «Об основных гарантиях прав ребенка в Российской Федерации» от 24.07.1998 № 124-ФЗ «в целях обеспечения прав детей на охрану здоровья, в порядке, установленном законода-

тельством Российской Федерации, в медицинских организациях государственной системы здравоохранения и муниципальной системы здравоохранения осуществляются мероприятия по оказанию детям бесплатной медицинской помощи, предусматривающей оздоровление детей, профилактику, диагностику и лечение заболеваний, в том числе диспансерное наблюдение, медицинскую реабилитацию детей-инвалидов и детей, страдающих хроническими заболеваниями, и санаторно-курортное лечение детей» (в редакции Федерального закона от 25.11.2013 № 317-ФЗ) [2].

Российская Федерация признает детство важным этапом развития человека и исходит из необходимости создания безопасных условий для реализации прав и законных интересов ребенка, подготовки детей к полноценной жизни в обществе, защиты детей от факторов, негативно влияющих на их физическое, интеллектуальное, психическое, духовное и нравственное развитие. Поэтому основной целью государственной политики в сфере обеспечения безопасности детей является снижение уровня детской смертности и детского травматизма, сохранение здоровья детей. Указанная концепция четко изложена в Указе Президента Российской Федерации от 17 мая 2023 г. № 358 «О Стратегии комплексной безопасности детей в Российской Федерации на период до 2030 года» [3].

Успешная деятельность по защите здоровья детского населения является важнейшим основополагающим этапом общего комплекса мероприятий, направленных на коренное улучшение популяционного здоровья всего населения Российской Федерации, изложенного в Указе Президента РФ от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и перспективу до 2036 года». Данный указ предусматривает увеличение ожидаемой продолжительности жизни до 78 лет к 2030 году и до 81 года к 2036 году, в том числе опережающий рост показателей ожидаемой продолжительности здоровой жизни [4].

Ожидаемая продолжительность жизни (ОПЖ) — значение средней продолжительности предстоящей жизни, прогнозируемое в предположении, что уровни смертности населения во всех возрастах в будущем останутся такими же, как в рассматриваемом году. ОПЖ является важнейшим интегральным демографическим показателем и используется применительно к ныне живущим поколениям (или какой-то части этих поколений).

С целью достижения высоких показателей здоровья детского и взрослого населения необходимо обеспечить оценку влияния на организм различных факторов среды жизнедеятельности. Это обусловлено тем, что успешное реагирование на ухудшение здоровья возможно только при наличии объективных сведений о состоянии среды жизни и здоровья населения. Решением данной проблемы является разработка и осуществление государственного социально-гигиенического мониторинга (СГМ).

При этом система СГМ не должна быть догмой или постулатом, окончательно и навсегда принятой в законченном виде. В интересах обеспечения более эффективной защиты здоровья населения система СГМ подлежит корректировке в соответствии с изменяющимися обстоятельствами с учетом прогрессивного отечественного и зарубежного опыта [5].

**Постановка задачи.** На основании использования теоретических научных данных, а также прогрессивного отечественного и зарубежного опыта разработать для практического внедрения в Российской Федерации наиболее оптимальные подходы в организации и проведении мониторинга здоровья детского и взрослого населения, являющегося важным фрагментом общей системы управления здоровьем.

**Целью** работы является разработка научно-практических основ мониторинга здоровья детского и взрослого населения Российской Федерации.

**Объект исследования** — мониторинг здоровья детского и взрослого населения,

формирование здоровья жителей, особенно детей и подростков, в условиях влияния факторов депрессивной социальной и техногенной экологической среды жизнедеятельности.

**Предмет исследования** — теоретические основы социально-гигиенического мониторинга, факторы риска и антириска здоровья населения, критерии мониторинга здоровья детского и взрослого населения (показатели функционирования различных органов и систем организма, физического развития, периферической крови, иммунологической реактивности организма, заболеваемости и распространенности заболеваний и другие), основные принципы мониторинга здоровья населения.

**Методика исследования.** В работе использованы социологические и общенаучные методы исследования. Также для оценки социально-экономических, антропогенных, техногенных факторов и уровня различных показателей здоровья населения применялись гигиенические и медико-статистические методы. При этом определенное внимание уделено анализу деятельности по обеспечению санитарного и эпидемического благополучия, а также здоровья, особенно детей и подростков, в регионе Донбасса.

**Изложение материала.** Социально-гигиенический мониторинг должен быть основан на анализе влияющих на организм человека факторов среды жизнедеятельности (с учетом их интенсивности и значимости) и показателей здоровья детского и взрослого населения. Учет абсолютно всех факторов среды жизнедеятельности не представляется возможным. Поэтому возникает необходимость обеспечения учета в первую очередь основных, то есть приоритетных факторов.

Возможны разные подходы к оценке факторов, влияющих на здоровье. Нами предложен вариант классификации экзогенных (внешних) факторов среды жизнедеятельности, основанный на природе их образования. Указанные факторы разделе-

ны на четыре основные группы: природные экологические, техногенные экологические, социальные и экономические. Принципиальная схема факторов среды жизнедеятельности, влияющих на организм человека приведена на рисунке 1.

На каждого человека оказывает влияние одновременно значительное количество различных по природе, интенсивности, продолжительности и другим характеристикам факторов среды жизнедеятельности, параметры которых изменяются во времени. Для каждого индивида характерен определенный, индивидуальный спектр сочетания разных влияющих факторов. Кроме того, у разных людей в значительной степени варьирует восприимчивость организма к воздействию комбинаций различных факторов, что проявляется в каждом конкретном случае в разной ответной реакции на воздействие.

От характера воздействия (интенсивности, продолжительности и других специфических характеристик) факторов на организм человека и адекватности их для конкретного индивидуума зависит ответная реакция организма и, следовательно, здоровье каждого ребенка, подростка и взрослого человека. Принципиально важной является возможность воздействия на факторы среды, предусматривающая максимальное ослабление влияния на организм вредных для здоровья факторов риска и активизацию полезных для организма факторов антириска.

К факторам риска относятся такие условия различной этиологии, воздействие которых на организм является прямой или опосредованной причиной ухудшения состояния здоровья. Факторами антириска, наоборот, следует считать условия различной этиологии, влияние которых на организм ослабляет вредное действие факторов риска и в результате этого способствует предупреждению ухудшения здоровья.

В то же время понятия факторов риска и антириска, по нашему мнению, не следует считать однозначными. Важно учиты-

вать, что один и тот же фактор может относиться к категории риска или антириска в зависимости от следующих условий:

- интенсивности, продолжительности влияния и других характеристик;
- состояния здоровья организма (здоровый или больной), на который направлен определенный фактор (солнечная активность, занятие спортом и др.);
- органов и систем организма, подверженных влиянию фактора;

– места рождения и первоначального проживания индивидуума в определенной природно-климатической зоне;

- возраста организма — ребенок, подросток, взрослый (употребление спиртных напитков является фактором риска для детского организма, но в то же время дозированное употребление спиртного может рассматриваться как фактор антириска сердечно-сосудистых заболеваний у взрослых).

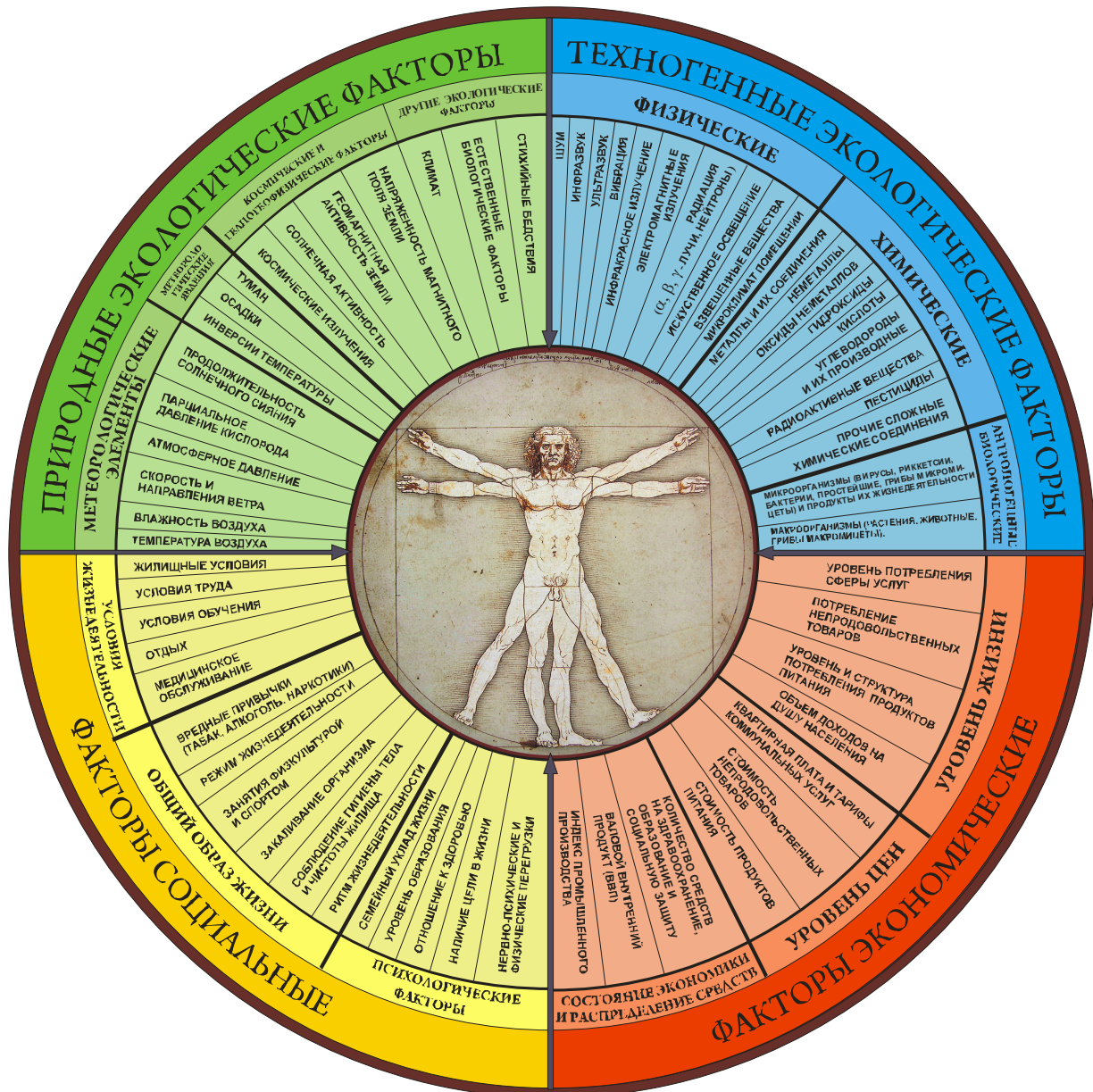


Рисунок 1 — Принципиальная схема факторов среды жизнедеятельности, влияющих на организм человека

Поэтому с научно-практической точки зрения нами определены понятия «абсолютные факторы риска» и «абсолютные факторы антириска», основанные на ответной реакции организма на их воздействие.

Абсолютными факторами риска следует считать такие, которые оказывают безусловно вредное влияние на организм большинства лиц при отсутствии признаков положительного влияния.

Абсолютные факторы антириска — это те, которые оказывают безусловно положительное влияние на организм большин-

ства лиц при отсутствии признаков отрицательного влияния.

На основании данных научной литературы и результатов проведенных собственных исследований нами составлен перечень основных абсолютных факторов риска и антириска среды жизнедеятельности с точки зрения оценки результатов их влияния на организм детей и подростков. Однако указанные факторы могут успешно использоваться для оценки качества среды жизнедеятельности также взрослого населения. Данные приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Основные факторы риска для здоровья детей и подростков

Наименования факторов риска	Параметры факторов риска
1. Техногенная экологическая среда в месте проживания и обучения	<p>Валовые выбросы вредных веществ атмосферу в год <math>&gt;1000 \text{ т/км}^2</math>, <math>&gt;200 \text{ кг/чел}</math> (но особенно <math>&gt;2000 \text{ т/км}^2</math>, <math>&gt;800 \text{ кг/чел}</math>)</p> <p>Удельный вес проб атмосферы с превышением ПДК <math>&gt;5 \%</math>, суммарный показатель загрязнения (<math>\Sigma \text{ПЗ}</math>) <math>&gt;200 \%</math>, КИЗА7 <math>&gt;5</math>, коэффициент опасности (НҚ) <math>&gt;1</math>, индекс опасности (НІ) <math>&gt;1</math></p> <p>Удельный вес результатов исследований с превышением норм эквивалентных уровней звука (<math>L_{A, \text{экв.}}</math>) <math>&gt;40 \%</math>, максимальных уровней звука (<math>L_{A, \text{макс.}}</math>) <math>&gt;20 \%</math>; средняя величина <math>L_{A, \text{экв.}}</math> <math>&gt;50 \text{ дБА}</math> и <math>L_{A, \text{макс.}}</math> <math>&gt;55 \text{ дБА}</math></p> <p>Опасное загрязнение почвы химическими веществами (суммарный показатель загрязнения почвы — <math>Z_c &gt;32</math>, но особенно <math>&gt;50</math>)</p> <p>Удельный вес проб атмосферного воздуха с содержанием окиси углерода выше ПДКм.р. в районах расположения автомагистралей <math>&gt;50 \%</math></p>
2. Высокая жесткость и минерализация питьевой воды	Общая жесткость питьевой воды $>10,0 \text{ ммоль/дм}^3$ , содержание сухого остатка $>1000 \text{ мг/дм}^3$ , хлоридов $>250 \text{ мг/дм}^3$ и сульфатов $>250 \text{ мг/дм}^3$
3. Пассивное курение	Курение одним и более членами семьи в помещениях, где находятся дети или подростки
4. Активное курение	Систематическое курение независимо от количества выкуриваемых сигарет
5. Употребление спиртных напитков	Употребление крепких спиртных напитков (содержащих более 20 % алкоголя) в любом количестве и/или легких спиртных напитков объемом более 300 мл и чаще 1 раза в месяц
6. Несоблюдение режима дня	Отсутствие или нарушение (постоянное или периодическое) установившегося порядка жизни: работы, питания, отдыха, сна
7. Несоблюдение времени отхода ко сну	Отход ко сну позже 23:00
8. Физиологически недостаточная продолжительность сна	Продолжительность сна менее 8–9 часов в сутки
9. Несоблюдение режима питания	Нарушение определенного распорядка приема пищи: часов приема, интервалов между отдельными приемами пищи, времени, затрачиваемого на каждый из приемов, и распределения суточного рациона (по калорийности, составу, весу и объему) по отдельным приемам пищи

Продолжение таблицы 1

Наименования факторов риска	Параметры факторов риска
10. Недостаточная кратность питания	Количество приемов пищи менее 3 раз в течение суток
11. Отсутствие питания в учебном заведении или неправильная его организация	Отсутствие питания в учебном заведении, питание холодными пирожками или бутербродами или пирожками с горячими напитками, но без полноценного обеда с включением первого блюда
12. Дефицит в пищевом рационе молока и молочных продуктов	Отказ от употребления молока и молочных продуктов, недостаточное или несистематическое их употребление
13. Низкое содержание йода в продуктах питания	Отсутствие приема в пищу или недостаточное употребление детьми и подростками, содержащими йод продуктов питания — морской рыбы, морской капусты и других морепродуктов, а также блюд, приготовленных с добавлением йодированной соли
14. Недостаточная физическая активность	Отказ от регулярных занятий утренней гимнастикой (физзарядкой) и видами спорта, связанными с физической нагрузкой
15. Неблагоприятный психологический климат в среде жизнедеятельности	Наличие стрессовых ситуаций в семье, учебном заведении или одновременно в нескольких местах; негативное эмоциональное отношение к стрессовым факторам среды жизнедеятельности детей и подростков, их личное переживание событий окружающей действительности; недостаточная способность противостоять негативным психогенным факторам среды
16. Отсутствие прогрессивной цели в жизни	Отсутствие прогрессивной цели в жизни, что снижает активность организма, является тормозом реалистичности и оптимистичности ориентации на будущее
17. Недостаточное медицинское обслуживание	Отсутствие или несвоевременное проведение медицинского обследования детей и подростков, без участия врачей педиатров, в неполном объеме — без исследования показателей функционирования системы кровообращения, органов дыхания и т. д., без оценки состояния здоровья, разработки и внедрения эффективных лечебно-профилактических мероприятий
18. Вредные условия труда матери	Труд матери на промышленных предприятиях или в других местах, связанный с физическими нагрузками или воздействием вредных химических веществ
19. Низкий материально-жилищный уровень семьи	Подушевой доход членов семьи ниже прожиточного минимума, низкая обеспеченность жилой площадью (менее 9 м <sup>2</sup> на человека), проживание не в собственной квартире или доме, недостаточное санитарно-техническое оснащение квартиры (отсутствие горячего водоснабжения и др.)
20. Отсутствие полноценного отдыха	Необеспечение ежегодного оздоровления детей и подростков в природных экологически чистых зонах с благоприятными природно-климатическими условиями, еженедельного отдыха в парковых зонах; отсутствие рационального чередования труда и отдыха

Для решения вопроса обеспечения более высоких показателей популяционного здоровья детского и взрослого населения целесообразно обеспечить предотвращение или ослабление влияния на организм основных факторов риска и одновременно активизацию факторов антириска, являю-

щихся общими для большинства жителей различных возрастных групп.

В то же время с целью обеспечения эффективной защиты индивидуального здоровья каждого ребенка, подростка и взрослого человека кроме осуществления общих мер профилактики заболеваний пред-

ставляется важным обеспечение нивелирования вредного влияния на организм строго специфических для каждого индивидуума факторов риска с учетом их сочетаний, активизация факторов антириска, а также положительных для отдельных лиц факторов неопределенного и разнонаправленного действия. Поскольку составными

частями популяционного здоровья детского и взрослого населения является состояние здоровья каждого жителя, включенного в популяцию, для обеспечения высоких показателей здоровья общества практически важным представляется гармоничное сочетание общих и индивидуальных профилактических мероприятий.

Таблица 2

Основные факторы антириска для детей и подростков

Наименования факторов антириска	Параметры факторов антириска
1. Природная экологически чистая среда в месте проживания и обучения	Содержание ксенобиотиков (с учетом возможности комбинированного действия на организм при совместном присутствии) в воздушной и водной средах, почве, растениях и продуктах питания на предельно низком уровне, но не выше ПДК
2. Употребление питьевой воды, соответствующей нормам, включая показатели физиологической полноценности минерального состава	Общая жесткость питьевой воды — 1,5–7,0 ммоль/дм <sup>3</sup> , общая щелочность — 0,5–6,5 ммоль/дм <sup>3</sup> , содержание сухого остатка — 200–500 мг/дм <sup>3</sup> , йода — 20–30 мкг/дм <sup>3</sup> , калия — 2–20 мг/дм <sup>3</sup> , кальция — 25–75 мг/дм <sup>3</sup> , магния — 10–50 мг/дм <sup>3</sup> , фторидов — 0,7–1,2 мг/дм <sup>3</sup> , хлоридов и сульфатов менее 250 мг/дм <sup>3</sup> ; остальные показатели не должны превышать нормативы
3. Отсутствие вредного воздействия табачного дыма на организм	Отказ от курения членами семьей, где проживают и воспитываются дети и подростки; запрещение курения в помещениях общественных зданий; исключение активного курения детей и подростков
4. Отсутствие вредного воздействия алкоголя на организм	Полный отказ от употребления спиртных напитков детьми и подростками
5. Соблюдение режима дня	Максимальное соблюдение установившегося порядка жизни: работы, питания, отдыха, сна в соответствии с оптимальными рекомендациями для детей и подростков с учетом их возраста
6. Обеспечение физиологически полноценного сна	Для детей и подростков ежедневно отход ко сну не позже 22:00 и продолжительность сна не менее 9 часов (для учащихся старших классов — не менее 8 часов) в сутки
7. Соблюдение режима питания	Максимальное соблюдение оптимального распорядка приема пищи: часов приема, интервалов между отдельными приемами пищи, времени, затрачиваемого на каждый из приемов, и распределение суточного рациона (по калорийности, составу, весу и объему) по отдельным приемам пищи с учетом возраста детей и подростков
8. Оптимальная кратность питания	Количество приемов пищи ежедневно 4 раза в течение суток
9. Правильная организация питания в учебном заведении	Ежесуточно в каждый учебный день в учебном заведении на большой перемене — полноценный обед с включением первого блюда
10. Употребление молочных продуктов	Ежесуточно употребление молока и молочных продуктов с учетом возраста детей и подростков
11. Оптимальное содержание йода в продуктах питания	Систематическое употребление детьми и подростками содержащих йод продуктов питания и блюд, приготовленных с добавлением йодированной соли

Продолжение таблицы 2

Наименования факторов антириска	Параметры факторов антириска
12. Оптимальная физическая активность	Регулярные занятия утренней гимнастикой (физзарядкой) и видами спорта, связанными с физической нагрузкой, в соответствии с состоянием здоровья, полом и возрастом детей и подростков
13. Благоприятный психологический климат	Отсутствие стрессовых ситуаций (в первую очередь в семье и учебном заведении); психологическая эмоциональная подготовленность детей и подростков противостоять возможным психогенным факторам среды жизнедеятельности
14. Наличие прогрессивной цели в жизни	Выбор прогрессивной цели в жизни, повышающей активность организма, что является катализатором реалистичности и оптимистичности ориентации детей и подростков на будущее
15. Оптимальный отдых	Систематическое оздоровление детей и подростков (ежегодно не менее 30 дней) в природных наиболее экологически чистых зонах с благоприятными природно-климатическими условиями, аналогичными тем, которые имеются на территориях постоянного места проживания (для региона Донбасса — хвойные леса в бассейне р. Северский Донец); еженедельно отдых в парковых зонах; ежедневно рациональное чередование труда и отдыха
16. Квалифицированное медицинское обслуживание	Квалифицированное медицинское обследование ежегодно каждого ребенка и подростка врачами педиатрами с исследованием показателей физического развития, функционирования системы кровообращения, органов дыхания и др. с оценкой состояния здоровья и внедрением лечебно-профилактических мероприятий
17. Улучшение состояния здоровья в результате оздоровительных мероприятий	Ежегодно (особенно в весенний и осенний периоды) оздоровление в детских учреждениях детей и подростков с использованием средств, повышающих иммунологическую реактивность организма, под контролем индивидуальных показателей здоровья каждого ребенка; систематическая искусственная витаминизация
18. Высокое образование матери	Высшее образование матери, положительно влияющее в целом на здоровье детей и подростков, но особенно на состояние ЦНС
19. Отсутствие вредных условий труда матери	У детей и подростков матери являются домохозяйками или работают, но их труд не связан с тяжелыми физическими нагрузками или воздействием вредных химических веществ
20. Высокий материально-жилищный уровень семьи	Подушевой доход членов семьи значительно выше прожиточного минимума, высокая обеспеченность жилой площадью (более 30 м <sup>2</sup> на человека), проживание в собственной квартире или доме, высокий уровень санитарно-технического оснащения квартиры (постоянно наличие горячего водоснабжения, ванны, душа и др.)

Вышеуказанным подходам к предотвращению ухудшения состояния здоровья детей и подростков должна предшествовать оценка влияния различных факторов среды жизнедеятельности на показатели здоровья. Это связано с тем, что успешное реагирование на ухудшение здоровья под влиянием депрессивной социальной и техногенной

экологической среды возможно только при наличии объективных сведений о состоянии среды жизни и здоровья населения в динамике за многолетний период.

Для решения вопроса обеспечения более высоких показателей здоровья детского и взрослого населения необходимо обеспечить оценку влияния на организм

различных факторов среды жизнедеятельности. Это связано с тем, что успешное реагирование на ухудшение здоровья под влиянием депрессивной социальной и техногенной экологической среды жизнедеятельности возможно только при наличии объективных сведений о состоянии среды жизни и здоровья населения в динамике за многолетний период. С этой целью целесообразно осуществление государственного социально-гигиенического мониторинга (СГМ), включающего мониторинг здоровья детского населения.

Следует отметить, что СГМ является важной составной частью системы управления здоровьем населения (СУЗ), представляющей собой комплекс взаимосвязанных структур (звеньев), функционирующих по определенным программам и адекватно реагирующих на ухудшение показателей здоровья жителей под влиянием депрессивной социальной и техногенной экологической среды жизнедеятельности.

Оптимальным является функционирование СГМ на трех основных уровнях, соответствующих административно-территориальному делению Российской Федерации: первый уровень — городской и районный, осуществляемый в пределах административно-территориальных единиц регионального подчинения; второй уровень — региональный — в пределах административных территорий регионов (республик, краев, областей и других видов административно-территориального устройства) страны и третий уровень — центральный — в целом в масштабе государства.

Предложена следующая последовательность действий по осуществлению мониторинга здоровья детского и взрослого населения в системе СГМ:

1. Установление объектов мониторинга, то есть предметов и лиц, состояние которых планируется оценивать в процессе осуществления постоянного наблюдения.

2. Определение субъектов мониторинга — физических и юридических лиц, наделен-

ных правами и обязанностями, а также обладающих способностями и необходимыми средствами для выполнения СГМ.

3. Разработка порядка подготовки, сбора, первичной обработки и предоставления в установленные сроки субъектами мониторинга в единый центр СГМ определенных данных о состоянии среды жизнедеятельности и здоровья детского населения.

4. Внедрение в практическую деятельность и обеспечение постоянного функционирования системы СГМ, то есть порядка сбора, хранения, обработки и системного анализа факторов среды жизнедеятельности и показателей здоровья.

5. Установление влияния на организм различных факторов, оценка их риска для здоровья детей, подростков и взрослого населения.

6. Определение тенденции изменения качества среды жизнедеятельности и состояния здоровья, прогнозирование указанных показателей при различных условиях.

7. Оценка экономического ущерба от ухудшения здоровья населения под влиянием различных негативных факторов среды жизнедеятельности.

8. Разработка предложений, мероприятий и программ по улучшению деятельности, направленной на обеспечение санитарного и эпидемического благополучия населения, с целью предупреждения заболеваний и ухудшения других показателей здоровья.

9. Оценка гигиенической, экологической и экономической эффективности от внедрения мероприятий и программ по улучшению состояния среды жизнедеятельности и здоровья населения.

10. Корректировка предшествующих и разработка новых гигиенических, экологических и лечебно-профилактических рекомендаций.

В процессе осуществления СГМ используются данные наблюдения за природными экологическими (природно-климатическими), техногенными экологическими (в том числе химическими, физи-

ческими, биологическими), социальными и экономическими факторами среды жизнедеятельности, состоянием здоровья детей, подростков и взрослого населения.

В целом для успешной организации СГМ повсеместно в стране критериями мониторинга здоровья детского и взрослого населения под влиянием различных факторов среды жизнедеятельности следует определить такие показатели (индикаторы) здоровья, которые характеризуются следующими свойствами:

– адекватно отражают влияние значимых факторов среды жизни на организм человека, то есть обладают высокой чувствительностью к внешним воздействиям;

– доступны (из-за простоты использования в экономическом отношении и по другим причинам) для определения у большого количества населения и поэтому пригодны для оценки здоровья при массовых обследованиях, в первую очередь детей и подростков;

– являются максимально безопасными и безвредными для обследуемых лиц (использование неинвазивных методов оценки иммунитета и другие);

– могут без ограничения повторно применяться в целях оценки здоровья детей, подростков и взрослых лиц после осуществления гигиенических, природоохранных, лечебно-профилактических и оздоровительных мероприятий;

– учитываются и регистрируются в официальных учетных и отчетных документах (утвержденных Министерством здравоохранения) в лечебно-профилактических и детских учреждениях.

К таким индикаторам здоровья, которые предложено использовать в процессе функционирования СГМ, относятся: показатели функционирования различных органов и систем организма (органов дыхания, системы кровообращения, нервной системы и т. д.), показатели физического развития, периферической крови, иммунологической реактивности организма, заболеваемости и распространенности заболе-

ваний, комплексные показатели здоровья, инвалидность, обращаемость на станцию скорой медицинской помощи, демографические и другие показатели. Полный перечень указанных показателей составлен отдельно для детей и подростков.

На основании анализа зарубежного и отечественного опыта, а также результатов собственных исследований, нами предложены основные принципы мониторинга здоровья населения:

1. Разработка и внедрение единых в стране нормативов (стандартов) показателей здоровья детей и подростков (периферической крови, функционирования системы кровообращения, органов дыхания и других), ранжированных в зависимости от пола и возраста.

2. Утверждение для применения повсеместно в качестве основных критериев мониторинга показателей здоровья, адекватно отражающих влияние факторов среды жизнедеятельности на организм детей и подростков.

3. Использование на всех административных территориях страны унифицированных компьютерных программ ввода, статистической обработки и оценки состояния среды жизни и здоровья детского населения.

4. Создание единой многоуровневой компьютерной научно-информационной системы государственного социально-гигиенического мониторинга «Среда жизнедеятельности — здоровье населения» на основе взаимосвязи всех субъектов СГМ.

5. Оснащение всех субъектов мониторинга (особенно детских и лечебно-профилактических учреждений) едиными или не имеющими значимых различий средствами контроля здоровья детского населения, обеспечение соответствующими методиками и обучение специалистов.

6. Создание и внедрение новых высокочувствительных и доступных для массового применения средств контроля ранних (донозологических) признаков ухудшения здоровья у детей, подростков и взрослых жителей.

7. Подготовка и повсеместное внедрение автоматизированной государственной системы компьютерного учета результатов планового обследования детей и подростков, включая флюорографию; оснащение субъектов мониторинга ПЭВМ и обеспечение компьютерными программами.

8. Разработка и внедрение системы регистрации и оценки результатов острых влияний неблагоприятных метеорологических условий (НМУ) и повышенных уровней загрязнения атмосферы вредными химическими веществами на организм (в результате учета обращений на станцию скорой медицинской помощи и в другие медицинские учреждения).

9. Подготовка и использование определенного порядка информирования (с указанием формы и сроков подачи данных) органов исполнительной власти, вышестоящих субъектов мониторинга, предприятий и учреждений о результатах мониторинга — состоянии среды жизнедеятельности, здоровья детей, подростков и взрослого населения в связи с воздействием на них факторов среды с соответствующими предложениями по предупреждению заболеваний.

10. Разработка для повсеместного внедрения единого и четкого алгоритма действий (принятия управленческих решений) в случае выявления в процессе мониторинга отклонений от нормы показателей здоровья в зависимости от возраста, пола, градации обнаруженных отклонений и других условий.

11. Использование системы мониторинга для оценки гигиенической, экологической и экономической эффективности мероприятий, направленных на улучшение качества среды жизнедеятельности и состояния здоровья населения, с научным обоснованием разработки дополнительных оздоровительных программ.

12. Информирование общественности через СМИ о состоянии среды жизнедеятельности и здоровья населения под влиянием различных факторов с соответствующими

рекомендациями по профилактике заболеваний.

Первоочередное практическое значение имеет разработка и внедрение СГМ на первом уровне организации, то есть в городах и районах регионального административного подчинения, где осуществляется сбор и первичная обработка данных о состоянии среды жизнедеятельности и здоровья населения. Поэтому нами в промышленном г. Алчевске Луганской области в Алчевской городской санитарно-эпидемиологической станции (СЭС) при поддержке Алчевского городского совета был разработан и внедрен вариант системы СГМ городского уровня, включающий мониторинг здоровья детей и подростков.

С целью осуществления СГМ в Алчевске было определено головное учреждение — Алчевская городская СЭС, в которую организовано поступление в установленные сроки от различных субъектов мониторинга определенных данных, характеризующих состояние среды жизнедеятельности (качество атмосферного воздуха, питьевой водопроводной воды, воды водных объектов и т. д.) и состояние здоровья населения. Для учета показателей здоровья детей и подростков в детских учреждениях и предоставления указанной информации в Алчевскую городскую СЭС разработаны и типографским способом изданы следующие учетные формы: «Результаты антропометрических исследований и другие показатели здоровья детей», «Результаты исследования артериального давления и частоты пульса у детей», «Сводная ведомость учета заболеваний детей в детском дошкольном учреждении», «Сводная ведомость учета заболеваемости детей в средней общеобразовательной и специализированной школе».

В результате функционирования СГМ в Алчевской городской СЭС создан за многолетний период городской информационный фонд данных о состоянии среды жизнедеятельности, здоровья детей, подростков и взрослого населения. С целью ускорения, автоматизации и унификации ста-

тистической обработки указанных сведений в Алчевской городской СЭС на основе стандартных базовых программ Windows Microsoft Office and Windows Vista разработаны и внедрены удобные для практического использования две основные группы систем автоматизированной компьютерной статистической обработки данных. Первая группа предназначена для обработки информации, характеризующей состояние среды жизнедеятельности (атмосферного воздуха, питьевой воды централизованного и нецентрализованного водоснабжения, воды открытых водоемов), а вторая группа — для обработки основных показателей здоровья детского населения (физического развития, артериального давления и частоты сердечных сокращений, периферической крови, заболеваемости).

По результатам мониторинга качества среды жизнедеятельности и состояния здоровья населения предложен и частично внедрен алгоритм действий, который является механизмом реагирования на источники факторов риска, пути их передачи и состояние организма человека. Однако в дальнейшем успех деятельности в данном направлении будет зависеть от поддержки вышестоящего руководства на региональном и центральном уровнях.

**Выводы.** Изложены теоретические основы организации и проведения государственного социально-гигиенического мо-

нитинга (СГМ). Отмечено, что СГМ является важной составной частью системы управления здоровьем населения (СУЗ). Сформулированы понятия факторов риска и антириска для здоровья населения. На основании данных научной литературы и результатов проведенных собственных исследований составлен перечень абсолютных факторов риска и антириска среды жизнедеятельности с точки зрения оценки результатов их влияния на организм детей и подростков. Разработана методология функционирования СГМ на трех основных уровнях, соответствующих административно-территориальному делению Российской Федерации. Изложена обоснованная в научном и практическом отношении последовательность действий по осуществлению мониторинга здоровья детского и взрослого населения в системе СГМ. Определены критерии мониторинга здоровья детского и взрослого населения под влиянием различных факторов среды жизнедеятельности, которые предложено использовать как показатели (индикаторы) здоровья. Изложены основные принципы мониторинга здоровья населения. На основании анализа зарубежного и отечественного опыта, а также результатов собственных исследований, предложены основные принципы мониторинга здоровья населения. Изложен опыт организации СГМ в промышленном городе.

#### Список источников

1. Конвенция о правах ребенка : принята Генеральной Ассамблеей ООН, резолюция 44/25 от 20.11.1989 г. URL: [https://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/childcon.shtml](https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/childcon.shtml).
2. Об основных гарантиях прав ребенка в Российской Федерации : федер. закон от 24.07.1998 г. № 124-ФЗ (в редакции Федерального закона от 20.02.2026 г. № 36-ФЗ). URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/12706>.
3. О Стратегии комплексной безопасности детей в Российской Федерации на период до 2030 года : указ Президента РФ от 17.05.2023 № 358. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/49230>.
4. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и перспективу до 2036 года : указ Президента РФ от 07.05.2024 № 309. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542>.
5. Капранов С. В. К вопросу стратегии Российской Федерации в сфере охраны среды жизнедеятельности и защиты здоровья населения // Экологический вестник Донбасса. 2024. № 2 (12). С. 24–37. EDN WLGUZH

*Рекомендована к печати к.м.н., директором Института естественных наук ЛГПУ  
Гаврик С. Ю.,  
директором НЦМОС ДонГТУ Кусайко Н. П.*

*Статья поступила в редакцию 12.03.2026.*

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Капранов Сергей Владимирович**, д-р мед. наук, главный врач  
Центр гигиены и эпидемиологии в Луганской Народной Республике в г. Алчевске (филиал),  
г. Алчевск, Россия, e-mail: kapranov\_sv0209@mail.ru

**Kapranov S. V.** (Center for Hygiene and Epidemiology in the Lugansk People's Republic in Alchevsk  
(Branch Office), e-mail: kapranov\_sv0209@mail.ru)

#### **SCIENTIFIC AND PRACTICAL BASIS FOR MONITORING THE HEALTH OF THE POPULATION OF THE RUSSIAN FEDERATION**

*The paper outlines the theoretical basis for organizing and conducting state social and hygiene monitoring (SHM). It was noted that SHM is an important component of the health management system (HMS). The concepts of risk factors and anti-risk for public health have been formulated. Based on scientific literature and results of our own research, we have compiled a list of absolute risk factors and anti-risk environments to assess their impact on the organisms of children and adolescents.*

*Methodology for the SHM functioning has been developed at three main levels corresponding to the administrative and territorial division of the Russian Federation. The SHM system presents a sequence of actions that is scientifically and practically justified for monitoring the health of both children and adults. Criteria for monitoring the health of a population have been defined, influenced by various environmental factors, which are proposed to be used as variables (indicators) of health. The basic principles of health monitoring are outlined.*

*Based on an analysis of foreign and domestic experience, as well as the results of our own research, the basic principles of monitoring public health are proposed. The experience of organizing SHM system in an industrial city is presented.*

**Key words:** *monitoring of public health, risk and anti-risk factors, health indicators of child population.*

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Kapranov Sergey Vladimirovich**, Doctor of Medicine, Chief Physician  
Center for Hygiene and Epidemiology in the Lugansk People's Republic in Alchevsk (Branch Office),  
Alchevsk, Russia, e-mail: kapranov\_sv0209@mail.ru

<sup>1</sup>Левченко Э. П., <sup>1</sup>Зинченко А. М., <sup>1</sup>Левченко О. А., <sup>2</sup>Павленко А. Т.

<sup>1</sup>Донбасский государственный технический университет,

<sup>2</sup>Луганский государственный университет им. В. Даля

\*E-mail: levchenckoeduard@yandex.ru

## ИННОВАЦИОННЫЕ ЭКОТЕХНОЛОГИИ ЗЕРНОПЕРЕРАБОТКИ

*Исследуется возможность измельчения зерновых культур в муку в двухступенчатой центробежно-ударной мельнице разгонного типа. На основе приготовленной опары из ржаной муки, полученной в центробежно-ударной мельнице, подтверждена практическая возможность выпечки хлеба без использования пекарских дрожжей.*

**Ключевые слова:** центробежно-ударная мельница, мука, опара, хлебобулочные изделия, измельчение, выпечка хлеба.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Безопасность жизнедеятельности человека [1] в современных условиях имеет все большую связь с экологическими реалиями, постоянно усугубляющимися как с развитием техногенного развития цивилизации, так и обусловленных этим глобальным изменением климата на планете [2].

В этой связи условия жизни в городских агломерациях наряду со многими преимуществами имеют некоторые недостатки. Особенно это видно из специфических особенностей омоложения заболеваний, что, в свою очередь, может иметь связь с качеством продуктов питания [3, 4].

Известно, что существенную роль в питании человека занимают хлебобулочные изделия [5], эффективно восполняющие до 50 % суточной потребности в белках и углеводах, и приближающиеся к полному покрытию этой нормы. При этом существенную роль на потребительские свойства муки оказывает способ измельчения зерновых культур [6].

Существует мнение, что современные термофильные дрожжи, широко применяемые для быстрого приготовления хлеба, зачастую способствуют возникновению онкологических заболеваний. Попадая в организм, они начинают там свою разрушительную деятельность по формированию аскопоры, которая, оказываясь в пищеваритель-

ном тракте, а в последствии в кровеносном русле, разрушает мембраны клеток, способствуя онкологическим заболеваниям [7].

Конечно же, в научных кругах имеются публикации и скептического характера по данному вопросу, оспаривающие вредность термофильных дрожжей [8]. Однако с точки зрения ветеринарии, например, собак нельзя кормить хлебом, ввиду возможных аллергических реакций, ожирения, запоров, отравления дрожжами и т. д. Причём основной причиной онкологии выступает неправильное питание, основанное на неестественной пище [9]. При этом на генетические причины приходится 10 % случаев данного заболевания, а подавляющие 90 % зависят от образа жизни и экологических факторов негативной окружающей среды.

Положительными особенностями хлеба, приготовленного на закваске, считаются лучшая переваримость и усвоение питательных веществ. А низкий гликемический индекс способствует более стабильному уровню сахара в крови. Процесс ферментации закваской способствует большей доступности клетчатки для микрофлоры кишечника за счёт лучшего расщепления клейковины и содержит меньше потенциально канцерогенных акриламидов, чем обычный белый хлеб.

**Постановка задачи.** Свойства хлебной муки наряду с условиями образования и подъёма теста способствуют получению

различных свойств хлебобулочных изделий при их выпечке. Такие свойства могут оказывать как более положительное, так и более отрицательное влияние на усвоение организмом хлебной продукции.

В связи с этим **целью** данной работы является поиск путей улучшения измельчения различных видов зерна до мучных фракций и получения товарного хлебного продукта с улучшенными свойствами по усвояемости организмом человека, в том числе приготовления хлеба на закваске.

**Объектом исследования** является процесс получения муки и приготовляемых из неё хлебобулочных изделий.

**Предмет исследования** — особенности измельчения зерновых культур и приготовление хлеба с помощью закваски.

**Задача исследования** — разработка способа измельчения зерновых культур в двухступенчатой центробежно-ударной мельнице и оценка возможности приготовления хлеба на закваске без применения дрожжей.

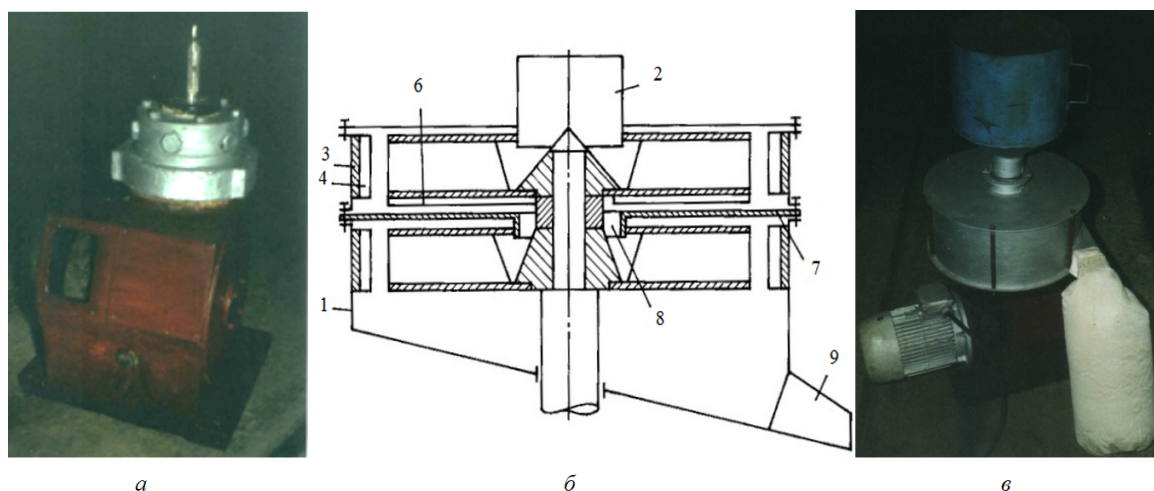
**Методика исследования.** Экспериментальные исследования процесса измельчения зерна в двухступенчатой центробежно-ударной мельнице разгонного типа и практическая выпечка бездрожжевого хлеба.

**Изложение материала.** Экспериментальные исследования принципа действия

существующих центробежно-ударных мельниц выявили их существенные недостатки. Так, вследствие значительной разницы в величине составных частей готового продукта после измельчения возникает необходимость в отделении необходимых фракций на грохотах с последующим повторным измельчением остатков. Это увеличивает длительность переработки сырья и оказывает влияние на его качество.

Созданная центробежно-ударная мельница двухступенчатого типа [10] даёт возможность избежать указанных недостатков. Наиболее целесообразным является использование таких мельниц для переработки твердых сыпучих материалов, в частности зерновых культур.

В рамках экспериментальных исследований на основе принципиально нового технического решения [11, 12] была спроектирована и изготовлена центробежно-ударная мельница. В качестве привода использовался сепаратор-сливкоотделитель ОСТ-3 (рис. 1) [13] Плавского машиностроительного завода «Смычка». Этот привод включает в себя асинхронный электродвигатель переменного тока мощностью 5,5 кВт, работающий на частоте 1440 об/мин, и редуктор с передаточным числом 4,51.



а — привод сепаратора; б — схема мельницы; в — двухступенчатый центробежно-ударный измельчитель с рукавным фильтром

Рисунок 1 — Элементы центробежно-ударной мельницы

Для данного типа измельчителей основополагающим параметром является абсолютная скорость вылета зерна из ротора, т. к. она обеспечивает максимальную кинетическую энергию его разрушения и обеспечивается угловой скоростью вращения ротора [14].

Двухступенчатый измельчитель состоит из корпуса 1, в верхней крышке которого имеется загрузочный патрубок 2 для подачи сырья в рабочую камеру. Диаметр загрузочного отверстия 120 мм. Напротив рабочих каналов роторов установлены кольца 3 с отбойными элементами 4 в виде уголка. Верхний ротор в своей нижней части снабжён дополнительными лопастями для создания воздушного потока, обеспечивающего перемещение предварительно разрушенной зерновой массы в центральное отверстие 8 горизонтальной перегородки. Таким образом, зерно сначала попадает во вращающийся ротор первой (верхней) ступени, разгоняется его лопастями и, вылетая с них, соударяется с отбойными плитами первой ступени. После чего происходит процесс пневмотранспортировки предварительно из-

мельчённой массы в ротор второй ступени, где процесс измельчения повторяется аналогичным образом. Расход воздуха составляет 0,02 м<sup>3</sup>/с. Двухступенчатое измельчение обеспечивает более мелкозернистый состав готового продукта, пылевые фракции которого по размерам сопоставимы с мучной крупностью при производительности 2 т/ч.

Готовый продукт выводится из мельницы через разгрузочное приспособление 9, которое в физическом устройстве комплектуется рукавным фильтром для улавливания пылевых фракций или сухим циклоном.

В целом мельница обеспечивает получение готового продукта крупностью не более 1 мм. При использовании мельницы для производства муки за одноразовый цикл измельчения можно получить до 50 % муки высшего сорта.

Кроме того, при измельчении сахара-песка образуется сахарная пудра в количестве, достаточном для промышленных объёмов, а воздушный поток, создаваемый ротором, можно использовать для пневмотранспортировки продуктов измельчения на достаточно протяжённые расстояния.

$$V = \omega R \sqrt{1 + \left( \frac{\sqrt{1 - \frac{a^2}{R^2}} - \frac{a}{R} f}{\sqrt{f^2 + 1} + f} \right)^2 + \frac{2 \left( \sqrt{1 - \frac{a^2}{R^2}} - \frac{a}{R} f \right) \frac{a}{R}}{\sqrt{f^2 + 1} + f}}, \quad (1)$$

где  $R$  — радиус ротора,  $a$  — радиус окружности в месте начала лопасти;  $f$  — коэффициент трения зерна о разгонные лопасти.

Так как наилучшие условия измельчения зерна достигаются при его прямом однослойном ударе об отбойные поверхности, то для гарантированного достижения этого разработана программа расчёта величины максимальной подачи сырья в мельницу, представленная на рисунке 2. В её основе лежит математическая зависимость расчёта, полученная аналитическим путём при системном анализе этапов прохождения сырья через рабочее пространство разгонно-ударной мельницы.

$$Q = \frac{M_{1000} \pi D}{1000d \left( -t_n - t_0 + \sqrt{(t_n + t_0)^2 + \frac{2d}{g}} \right)}, \quad (2)$$

где  $t_n$  — время, характеризующее начальные условия подхода частицы к лопасти;  $t_0 = \frac{2\pi}{N\omega}$  — время одного оборота ротора;  $N$  — количество лопастей на роторе;  $\omega$  — угловая частота вращения ротора;  $d$  — наибольший размер исходного материала;  $M_{1000}$  — масса тысячи зёрен мелкозернистого материала;  $D$  — диаметр отбойного кольца.

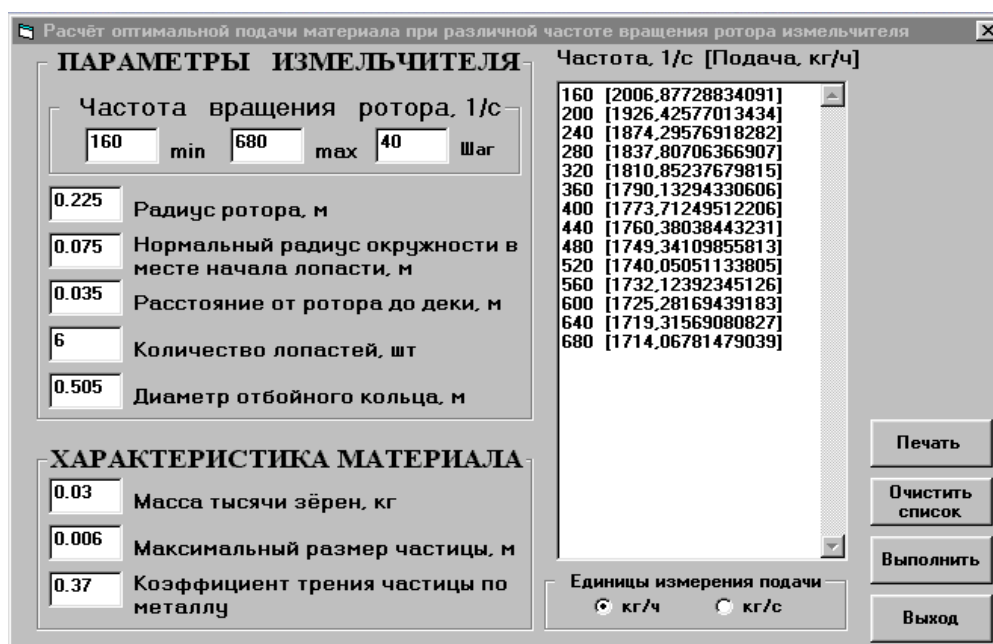


Рисунок 2 — Рабочее окно программы

В таблице 1 приведены данные пофракционного состава измельчённого овса, а также смеси гороха, кукурузы и овса в вековой пропорции 1:1:1.

Измельчитель имеет 2 ротора диаметром 450 мм, расположенных соосно на общем приводном валу. Номинальная угловая скорость вращения 680 с<sup>-1</sup>.

Таблица 1  
Фракционный состав измельченного овса и смеси гороха, кукурузы и овса

Размер отверстий сит	Остаток на сите			
	Овёс		Смесь	
	г	%	г	%
2,500	0,62	1,02	0,00	0,00
1,600	1,70	2,10	0,80	0,95
1,000	10,7	13,25	6,55	7,75
0,630	10,16	12,57	9,45	11,18
0,400	12,15	15,04	10,60	11,54
0,315	6,30	7,80	5,65	6,68
0,200	7,95	9,84	6,50	7,69
0,160	4,55	5,63	5,05	5,97
0,100	5,20	6,44	19,97	23,61
0,063	18,85	22,10	19,99	23,64
0,050	3,10	3,84	0,02	0,02
0,000	0,30	0,37	0,00	0,00

Двухступенчатая центробежно-ударная мельница демонстрирует повышенную энергоэффективность по сравнению с традиционными вальцовыми мельницами, что заключается в отсутствии промежуточных этапов просеивания и повторного измельчения и сокращает энергопотребление на 20–30 %; использование воздушного потока для транспортировки продукта исключает дополнительные механические конвейеры; компактное устройство снижает теплопотери и площадь производственных помещений, что является важным для урбанизированных территорий.

Получение муки высшего сорта за один проход (до 50 %) минимизирует выброс пылевидных отходов (улавливаются рукавным фильтром или циклоном в окружающую среду); снижает потери зерна при многократной переработке и потребление воды на очистку оборудования; сокращает углеродный след от получения муки на 15–20 % за счёт оптимизации технологического цикла.

С целью безопасной эксплуатации мельницы для обслуживающего персонала и окружающей среды проведена оценка воз-

действия шумовых и пылевых факторов. Для этого были выполнены измерения уровней звукового давления (табл. 2), вибрации и концентрации пыли в воздухе. При анализе полученных данных принималось во внимание требование о том, что уровень звукового давления на расстоянии 1 м от дробилки в октавных полосах частот не должен превышать предельных значений, установленных ГОСТ 12.1.003-83.

Требования к безопасности предписывают, что уровень вибрации, воздействующей на персонал от работающего измельчителя, не должен превышать значений, регламентированных ГОСТ 12.1.012-90. Аналогично при функционировании мельницы с номинальной производительностью, качество воздушной среды в непосредственной близости от неё должно соответствовать стандартам, изложенным в ГОСТ 12.1.005-88.

Для объективной оценки указанных параметров — уровня шума, вибрации и концентрации пыли — был задействован следующий комплекс измерительного оборудования. Измерение шума и вибрации осу-

ществлялось посредством измерителя ЗШВ-003 в комплекте с вибропреобразователем модели ДН-3-М1 (табл. 3). Определение запылённости воздуха производилось с использованием аспиратора АЭР 4, оснащённого специальным аллонжем для удержания фильтрующего элемента. Полученные данные по запылённости воздуха в зоне эксплуатации дробилки составили 1,61 мг/мм<sup>3</sup>, что свидетельствует о значительном запасе относительно установленных предельно допустимых концентраций.

По результатам проведенных испытаний установлено, что ни один из контролируемых показателей, характеризующих воздействие вредных факторов, не выходит за пределы допустимых нормативных требований.

Уровень запылённости значительно ниже ПДК снижает нагрузку на системы вентиляции и атмосферу; шумовое и вибрационное воздействие не превышает норм, что позволяет размещать мельницы в пригородных зонах; отсутствие химических реагентов в процессе измельчения исключает загрязнение сточных вод.

Таблица 2

Уровни звукового давления при работе дробилки

Направления, по которым нормируется вибрация	Среднеквадратичное значение виброскорости, м/с·10 <sup>2</sup>											
	Уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц											
	Нормативные						Измеренные					
	2	4	8	16	31,5	63	2	4	8	16	31,5	63
Вертикальные	1,8	0,45	0,22	0,2	0,2	0,2	1,3	0,45	0,22	0,2	0,2	0,2
Горизонтальные	108	99	93	92	92	92	-	-	0,15	0,1	0,1	0,1

Таблица 3

Уровни вибрации при работе измельчителя

Направления, по которым нормируется вибрация	Среднеквадратичное значение виброскорости, м/с·10 <sup>2</sup>											
	Уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц											
	Нормативные						Измеренные					
	63	125	250	500	1000	2000	63	125	250	500	1000	2000
Вертикальные	98	102	102	102	101	98	88	90	92	92	90	88
Горизонтальные	96	91	88	87	85	81	80	80	78	76	74	72

Так как в ходе образовательного процесса систематически интегрируются темы здорового образа жизни и рационального питания, при этом приоритет отдаётся формированию практических навыков. Студенты в рамках практических занятий осуществили культивирование натуральной ржаной закваски из базового сырья, которую впоследствии использовали для выпечки каравая (рис. 3).

Некоторым недостатком данной мельницы можно считать значительное влияние неуравновешенных масс ротора на его возможный дисбаланс, что можно решить его относительно несложной статической балансировкой или более качественной, но и относительно более сложной динамической балансировкой известными методами, описанными в прикладной механике [15, 16].

Технология приготовления хлеба на опаре заключалась в следующем. Предварительно приготовленную опару объёмом 0,5 л выставляли из холодильника для прогрева естественным образом. Затем она перемешивалась до консистенции сметаны с добавлением двух стаканов воды и двух стаканов ржаной муки, после чего она дозревала в тёплом месте в течение 5 часов до полного подъёма. После этого подготавливалось тесто путём добавления в опару двух стаканов предварительно про-

сеянной пшеничной муки и двух стаканов ржаной муки. В данную смесь добавлялось 0,5 стакана воды, две чайные ложки соли, четыре чайные ложки сахара и три столовые ложки растительного масла, после чего смесь перемешивали и давали отдохнуть в течение 20 мин. Впоследствии делался замес заготовки хлеба из теста, и он подходил около 1,5–2 часов, после чего выпекался в противне.

Переход на выпечку хлеба на закваске (без термофильных дрожжей) имеет не только медико-биологическое, но и экологическое значение, т. к. сокращается потребность в промышленном производстве дрожжей (снижение энергозатрат, выбросов CO<sub>2</sub>, водных стоков); уменьшается зависимость от синтетических добавок, используемых в дрожжевом хлебопечении; повышается биоразлагаемость отходов производства (опары, бракованных изделий) без токсичных остатков дрожжей.

Проведенная работа показала, что предлагаемая разгонно-ударная мельница выполняет свою роль по измельчению зерна в муку, а выпеченный хлеб обладает хорошими вкусовыми свойствами. Однако его выпечка требует гораздо больших затрат времени по сравнению с традиционно приготавливаемым хлебом с помощью пекарских дрожжей, продаваемых в магазине.



а



б

а — опара; б — испечённый хлеб

Рисунок 3 — Участие студентов в приготовлении бездрожжевого хлеба (б) на опаре (а)

Предложенная технология соответствует принципам устойчивого развития ООН: ликвидация голода (повышение пищевой ценности хлеба за счёт сохранения нутриентов при щадящем измельчении); здоровое поколение (снижение рисков, связанных с потреблением термофильных дрожжей); разумное потребление (минимизация отходов и энергозатрат в цепочке «зерно → мука → хлеб»).

Рациональным направлением является внедрение мельниц на малых фермерских предприятиях, что укрепит локальные экосистемы и снизит нагрузку на мегаполисы.

Для коммерциализации технологии рекомендуется получение сертификата ISO 14001 (экологический менеджмент); маркировка продукции знаком «Экохлеб» (аналог EU Ecolabel) с указанием снижения выбросов CO<sub>2</sub> на 1 кг продукта; публикация отчёта об экологическом следе по стандарту GRI (Global Reporting Initiative).

Перспективным направлением развития работ по усовершенствованию разгонно-ударных мельниц является замена электропривода на гидравлический [17] с использованием биоразлагаемых гидравлических жидкостей. Это позволит избежать такого недостатка, как перегрев обмоток электродвигателя при разгоне массивного ротора, вследствие чего двигатель может выходить из строя. В частности, для избежания этого в настоящее время осуществляется плавный пуск посредством применения частотного преобразователя.

Для повышения экологичности технологии в перспективе предлагается интеграция солнечных панелей для энергоснабжения мельницы (снижение углеродного следа на 40–60%), разработка биоразлагаемой упаковки для муки и хлеба из отходов перера-

ботки (солома, шелуха), создание замкнутого водного цикла для очистки оборудования с применением фитофильтров (водные растения, активированный уголь).

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Ухудшение экологической ситуации и условия жизни в городских агломерациях способствуют омоложению заболеваний, что может быть связано с качеством продуктов питания.

Полученные результаты свидетельствуют о возможностях применения двухступенчатой ударной мельницы для измельчения сельскохозяйственных зерновых культур для производства муки и комбикормов.

Фракционный состав готового продукта соответствует крупности, предъявляемой для производства муки. Мельница обладает высокой удельной производительностью при относительно компактных габаритных размерах.

Воздействие вредных факторов от работы мельницы не превышает установленных допустимых нормативных значений.

Полученный в результате выпечки хлеб с применением закваски по органолептическим свойствам соответствует пищевым предпочтениям человека, однако требует большего времени приготовления.

Использование местных зерновых культур (овёс, рожь, пшеница) в комбинации с бездрожжевой технологией поддерживает биоразнообразие агроландшафтов (снижение монокультурности); сокращает транспортные выбросы углекислого газа за счёт локального производства; способствует развитию циркулярной экономики (отходы мельницы выступают кормом для скота, зола от сжигания отходов применяется в качестве удобрений).

#### Список источников

1. Левченко Э. П., Давиденко В. А., Ноженко А. А. *Безопасность жизнедеятельности. Лабораторно-практические работы : учебное пособие.* Алчевск : Вифлеем, 2020. 260 с. EDN YVANFN
2. Левченко Э. П. *Перспективы управления агрегатным состоянием водных ресурсов на основе глобального потепления климата // Экологический вестник Донбасса.* 2021. № 2. С. 28–37. EDN NMPGKV

3. Экология мегаполисов и промышленных агломераций. Практические работы : учебное пособие / Э. П. Левченко, В. С. Федорова, А. Т. Павленко, А. А. Ноженко. Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. 140 с.

4. Экология мегаполисов и промышленных агломераций. Лабораторные работы : учебное пособие / Э. П. Левченко, В. С. Федорова, А. Т. Павленко, А. А. Ноженко. Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. 132 с.

5. Зезин Н. Н., Воробьева В. А. Продовольственная безопасность Свердловской области: хлебопекарная пшеница уральской селекции // Нива Урала. 2010. № 3. С. 6–8. EDN SQUKYV

6. Влияние способа измельчения зерна пшеницы на свойства муки / Е. Е. Пономарева, В. Ю. Кустов, Л. В. Шторх, И. А. Алейник // Энергосберегающие процессы и аппараты в пищевых и химических производствах. 2011. С. 129–132.

7. Что такое термофильные дрожжи. М. : ООО НПФ «Скарабей». 13 с. URL: <https://fumigaciya.ru/sites/default/files/public/page/2011-09/18/termofilnyedrozhzhzhi.pdf> (дата обращения: 22.01.2026).

8. Кормина Ж. В. Дрожжи-убийцы: гастрономическая конспирология и культура недоверия в современной России // Антропологический форум. 2015. № 23. С. 142–175. EDN UMWRHB

9. Рак у собак [Электронный ресурс] // Ездое собаководство : [сайт]. [2026]. URL: <https://dog-sledding.ru/rak-u-sobak/> (дата обращения: 22.01.2026).

10. Перспективные возможности повышения эффективности производства кормов на базе дробильно-измельчительных машин разгонно-ударного типа / Э. П. Левченко [и др.] // Достижения и перспективы развития птицеводства : материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 95-летию со дня рождения П. П. Царенко. СПб. : Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2024. С. 152–157.

11. Центробежная дробилка : пат. 2029618 Рос. Федерация / А. Н. Онопченко, А. М. Зинченко, Э. П. Левченко, Р. М. Сухомлин ; № 4904937/33 ; заявл. 24.01.1991 ; опублик. 27.02.1995.

12. Левченко Э. П., Зинченко А. М., Левченко О. А. Основы синтеза инновационных технологических процессов, механических устройств и систем (опыт 30-летней изобретательской деятельности). Алчевск : ГОУВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018. 353 с. EDN XSQVRR

13. Левченко Э. П. Интенсификация технологического процесса измельчения зерна на комбикорм в центробежно-ударной мельнице : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Луганск, 2001. 21 с. EDN WZFWCX

14. Диспергирование сыпучих материалов в разгонно-ударных дробильно-измельчительных машинах / Э. П. Левченко [и др.]. Алчевск : ГОУВПО «ДонГТУ», 2016. 225 с. EDN WYGEPX

15. Левченко Э. П., Левченко О. А., Павленко А. Т. Прикладная механика. Лабораторно-практические работы : учебное пособие. Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. 152 с. EDN DWONWW

16. Левченко Э. П., Левченко О. А. Основные положения и рекомендации по изучению прикладной механики и основ конструирования (теории механизмов и машин и деталей машин): учебное пособие. Алчевск : ГОУВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017. 188 с. EDN ZFGRSX

17. Проектирование гидропривода дробильно-измельчительных машин : учебник для студентов направления подготовки 13.04.03 «Энергетическое машиностроение» / Э. П. Левченко [и др.]. Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2022. 316 с. EDN OUYSGK

© Левченко Э. П., © Зинченко А. М., Левченко О. А., 2026

© Павленко А. Т., 2026

**Рекомендована к печати директором НЦМОС ДонГТУ Кусайко Н. П., д.с.-х.н., проф., проф. института гражданской защиты ЛГУ им. В. Даля Зубовым А. Р.**

Статья поступила в редакцию 26.02.2026.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Левченко Эдуард Петрович**, канд. техн. наук, доцент каф. экологии и безопасности жизнедеятельности

Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия, e-mail: levchenckoeduard@yandex.ru

**Зинченко Андрей Михайлович**, канд. экон. наук, зав. каф. технологии и организации машиностроительного производства

Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия

**Левченко Оксана Александровна**, канд. техн. наук, доцент каф. технологии и организации машиностроительного производства

Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия

**Павленко Александр Тимофеевич**, канд. техн. наук, доцент, заместитель директора института гражданской защиты

Луганский государственный университет им. В. Даля,  
г. Луганск, Россия

\***Levchenko E. P., Zinchenko A. M., Levchenko O. A.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, \*e-mail: levchenckoeduard@yandex.ru), **Pavlenko A. T.** (Lugansk State University named after V. Dahl, Lugansk, Russia)

## INNOVATIVE ECOTECHNOLOGIES FOR GRAIN PROCESSING

The possibility of milling grain crops into flour in a two-stage centrifugal impact mill of the accelerating type is being investigated. Based on the prepared predough from rye flour obtained in a centrifugal impact mill, the practical possibility of baking bread without using baker's yeast was confirmed.

**Key words:** centrifugal impact mill, flour, predough, bakery goods, milling, bread baking.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Levchenko Eduard Petrovich**, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Ecology and Life Safety

Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia, e-mail: levchenckoeduard@yandex.ru

**Zinchenko Andrey Mikhailovich**, PhD in Economic Sciences, Head of the Department of Technology and Organization of Machine-building Engineering

Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia

**Levchenko Oksana Aleksandrovna**, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Technology and Organization of Machine-building Engineering

Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia

**Pavlenko Aleksandr Timofeevich**, PhD in Engineering, Assistant Professor, Deputy Director of the Institute of Civil Defense

Lugansk State University named after V. Dahl,  
Lugansk, Russia

<sup>1,\*</sup>Левченко Э. П., <sup>2</sup>Павленко А. Т., <sup>1</sup>Левченко О. А., <sup>1</sup>Кучеренко Л. Э.

<sup>1</sup>Донбасский государственный технический университет,

<sup>2</sup>Луганский государственный университет им. В. Даля

\*E-mail: levchenckoeduard@yandex.ru

## ФЕНОМЕН ОСЕННЕЙ ИНВЕРСИИ МИГРАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ СКВОРЦОВ (*STURNUS VULGARIS*) НА ТЕРРИТОРИИ ДОНБАССА: ПРЕДПОСЫЛКИ И ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Традиционно скворцы (*Sturnus vulgaris*) являются перелётными птицами, совершающими дальние миграции в тёплые края с наступлением осенне-зимнего периода. Однако в последние десятилетия наблюдается тенденция к сокращению дальности миграций и даже к полной оседлости части популяций в регионах с умеренным климатом. Данная статья посвящена анализу причин и возможных механизмов отказа скворцов от традиционных осенних миграций с территории России, с особым акцентом на регион Донбасса. Исследование рассматривает комплекс факторов, включая климатические изменения, антропогенное воздействие и изменения в кормовой базе, которые могут способствовать формированию новой миграционной стратегии у данного вида.

**Ключевые слова:** скворец обыкновенный, миграция птиц, инверсия миграционного поведения, климатические изменения, антропогенное воздействие, кормовая база, зимовка, Донбасс, адаптация.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Миграционное поведение птиц является одним из наиболее ярких и сложных адаптивных механизмов, обеспечивающих выживание вида в условиях сезонных изменений окружающей среды. Скворец обыкновенный (*Sturnus vulgaris*) — широко распространённый вид [1], известный своими масштабными осенними миграциями из северных и умеренных широт в более тёплые регионы Африки и Южной Азии. Однако наблюдения последних лет свидетельствуют о заметных изменениях в миграционной стратегии скворцов, проявляющихся в сокращении дистанции перелёта, а также в увеличении числа птиц, остающихся на зимовку в пределах своих летних ареалов. Особый интерес представляют территории России, где климатические условия могут быть достаточно суровыми для зимовки. В частности, в Донбассе, регионе с развитым сельским хозяйством и относительно мягкими зимами по сравнению с более северными территориями России, наблюдается увеличение численности зимующих сквор-

цов. Целью данной статьи является научное обоснование причин и возможных механизмов отказа скворцов от традиционных осенних миграций с территории России, с фокусом на Донбасс.

В доступных источниках за последние 50 лет зафиксированы отдельные случаи, когда скворцы оставались зимовать на территории России, не улетая в тёплые края. Эти явления чаще всего были связаны с аномально тёплой погодой, наличием корма или другими локальными условиями [2].

В 1950-х годах появились сообщения о зимовке скворцов в некоторых регионах России. Например, в 1952–1953 годах большие стаи скворцов (до 500 особей) зимовали на животноводческих фермах в Багаевском районе Ростовской области, несмотря на то, что 14 февраля температура опускалась до  $-13^{\circ}\text{C}$ . Позже поступали сведения о зимовке скворцов в посёлке Персиановский, Новочеркасске, Геленджике, на фермах Краснодарского края, в Ростове-на-Дону, Таганроге и Азове [2].

В Славянском районе Краснодарского края отлёт скворцов обычно заканчивался

во второй половине ноября, но с 1953 года часть местных и, вероятно, пролётных птиц оставалась зимовать. До выпадения снега (даже при морозах до  $-10...-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) скворцы кормились на бывших рисовых и кукурузных полях, на люцерновых полях и на выгонах [2].

В низовьях рек Малая Кугульта и Большая Кугульта (Труновский район Ставропольского края) в 1977–1980 годах зимовали примерно 1000–1500 скворцов. Днём они держались стайками от 3 до 300 птиц [2].

**Постановка задачи.** Миграция или отказ от нее скворцов является важным этапом понимания изменений, происходящих на земном шаре, указывающих на их глобальный процесс и последствия. Более полное понимание причин этого способствует выявлению причинно-следственных связей техногенной деятельности человечества и экологических изменений как в ближайшей, так и дальней перспективе.

В связи с этим **целью** данной работы является поиск объяснительной базы поведенческого характера скворцов, вызванного отказом от привычной миграции.

**Объектом исследования** является процесс отказа скворцов от миграции в тёплые края с территории Донбасса в 2025–2026 гг.

**Предмет исследования** — особенности учёта различных факторов, влияющих на поведенческий характер скворцов.

**Задача исследования** — всесторонний анализ причин и следствий отказа скворцов от миграции с территории Донбасса в осенне-зимний период 2025–2026 годов.

**Методика исследования.** Аналитический анализ атипичного поведенческого характера скворцов, отказавшихся от миграции с территории Донбасса в осенне-зимний период 2025–2026 годов.

**Изложение материала и его результаты.** Миграционные перелёты птиц — это одно из самых удивительных и в то же время опасных явлений в природе. Ежегодно миллионы пернатых преодолевают тысячи километров, сталкиваясь с бесчисленными вызовами. Научные исследова-

ния, основанные на статистических данных, позволяют приоткрыть завесу тайны над этими грандиозными путешествиями, раскрывая поразительные цифры выживаемости, потери массы тела и других критически важных факторов.

Систематизированных данных о массовых случаях отказа скворцов от миграции за последние 50 лет в открытых источниках мало. Это связано с несколькими факторами:

- отсутствие долгосрочных наблюдений, т. к. орнитологические исследования не всегда велись на регулярной основе в разных регионах;

- локальность явлений, связанная с тем, что зимовка могла происходить в отдельных местах и не получать широкого освещения;

- естественная изменчивость, ибо поведение птиц зависит от множества факторов (погода, наличие корма и др.), что затрудняет выявление общих закономерностей.

В доступных источниках за последние 20 лет зафиксировано лишь одно массовое событие, когда скворцы отказались от перелёта в тёплые страны с территории России. Это произошло в декабре 2025 года в Санкт-Петербурге [3]. По утверждению биолога Павла Глазкова, скворцы остались зимовать в городе из-за аномально тёплой погоды, хотя обычно они мигрируют в Западную Европу, но в 2025 году климатические условия позволили им адаптироваться к местным условиям.

Причинами такого поведения могли послужить:

- доступ к пище, основным рационом которой являются насекомые, извлекаемые в оттаявших участках земли и приспособленность питаться пищевыми отходами в городской среде;

- дополнительный корм, обеспечиваемый хорошим урожаем рябины и мелких яблок.

Ранее, в 2020 году, в Москве также отмечалось, что часть популяции скворцов остаётся на зимовку в связи с тем, что люди, подкармливая птиц [4], обеспечили им возможность зимовать, а природа подстроилась под новые условия. Такие пти-

цы получили название «синантропные», т. е. привязанные к человеку.

Перелёты скворцов из России в тёплые края сопряжены с множеством рисков, которые влияют на состояние и выживаемость этих птиц, связанные с такими свойственными нашей планете факторами [5], как:

1. Погодные условия (потери могут достигать 50 % и более):

– штормы и сильные ветры, способные сбивать птиц с курса, истощать их силы и приводить к гибели от переохлаждения или падения в воду;

– резкие перепады температур, вызванные неожиданным похолоданием или аномальной жарой, приводящие к стрессам и обезвоживанию;

– туманы и низкая облачность, ухудшающие видимость, затрудняющие навигацию и увеличивающие риск столкновений с препятствиями.

2. Хищники (хищничество может быть причиной гибели до 20–30 % птиц):

– соколы, ястребы и другие хищные птицы, для которых собирающиеся в большие стаи скворцы служат заметной и уязвимой добычей, особенно на местах остановок и ночёвок;

– наземные животные на местах остановок (лисы, куницы и другие млекопитающие).

3. Истощение и голод (в среднем птицы могут терять от 1 до 5 % своей массы тела ежедневно и потеря более 30–40 % от первоначальной массы):

– длительность перелёта может занимать недели, требуя огромных энергетических затрат;

– недостаток пищи на пути, связанный с изменением климата и деградацией среды обитания, что сокращает доступные источники насекомых и ягод на местах остановок;

– потеря жировых запасов, накопленных перед миграцией, их нехватка при тяжёлых перелётах или слишком суровых условиях.

4. Болезни и паразиты:

– распространение инфекций;

– ослабление иммунитета, обусловленное стрессом от перелёта и общее снижение сопротивляемости организма к инфекциям.

5. Антропогенный фактор:

– столкновения с искусственными препятствиями в виде высотных зданий, линий электропередач, ветряных турбин и др.;

– потеря среды обитания, вызванная разрушением мест остановок и зимовок из-за урбанизации и сельского хозяйства;

– пестициды и загрязнение пищи или воды на пути следования.

6. Ошибки в навигации (дезориентация может быть причиной гибели до 10–15 % птиц), вызванные погодными условиями, изменением ландшафта или даже световым загрязнением, способные привести к отклонению от маршрута, потере энергии и, в конечном итоге, к гибели.

Способность птиц ориентироваться в пространстве на огромных расстояниях — это одно из самых удивительных явлений природы. Считается, что они используют комплексные системы, включающие магнитное поле Земли, положение Солнца и звезд, а также визуальные ориентиры.

Выживаемость скворцов во время миграции сильно варьируется и зависит от множества факторов. В среднем, по оценкам орнитологов, до 50 % молодых птиц могут не пережить свой первый перелет. Для взрослых особей этот показатель несколько ниже, но все равно является значительным.

На выживаемость сильное влияние оказывают возраст и опытность, физическое состояние; погодные условия, наличие безопасных мест для остановок.

По оценкам учёных, средняя выживаемость во время миграции может варьироваться от 30 до 70 % для различных видов [6]. Это означает, что значительная часть птиц, отправляющихся в путь, не добирается до места назначения.

Скворцы могут задерживать миграцию или отказываться от перелёта в тёплые страны по нескольким причинам, связанным

с погодными условиями, наличием корма и антропогенным влиянием. В 2025 году в некоторых регионах наблюдалась задержка отлёта этих птиц, что может быть предварительно объяснено основными факторами, которые могли повлиять на это:

- тёплая и мягкая осень;
- обильный корм;
- адаптация к городским условиям, где температура воздуха часто выше, чем в окрестностях;
- изменение климата.

Важно отметить, что степень миграции скворцов варьируется в зависимости от региона и конкретных условий. В Западной и Южной Европе, Предкавказье, Северной Америке и к югу от этих регионов большая часть птиц ведёт оседлый образ жизни, а в Центральной, Северной и Восточной Европе, а также в Сибири популяция считается преимущественно перелётной.

Глобальное потепление и связанные с ним изменения климата [7] оказывают существенное влияние на многие аспекты жизни птиц, включая миграцию. На территории России, и в частности на Донбассе, наблюдаются следующие тенденции:

- повышение среднегодовых температур, из-за чего зимы становятся менее суровыми, с меньшим количеством дней с устойчивым снежным покровом и более высокими температурами [8], что снижает энергетические затраты птиц на поддержание теплового баланса и облегчает поиск корма;
- сдвиг сроков наступления заморозков, что при более позднем наступлении устойчивых морозов позволяет скворцам дольше оставаться на привычных территориях, где еще доступна пища;
- изменение характера осадков, когда увеличение количества дождей зимой может способствовать разрыхлению почвы и облегчению доступа к беспозвоночным, являющимся важной частью рациона скворцов.

Эти климатические сдвиги могут создавать условия, при которых зимовка на территории России становится энергетически

более выгодной или, по крайней мере, не столь рискованной, как традиционная дальняя миграция.

В частности, регион Донбасса обладает рядом характеристик, которые делают его привлекательным для зимовки скворцов:

- относительно мягкий климат по сравнению с более северными регионами России, обеспечивающий менее суровые зимы с меньшей продолжительностью и интенсивностью морозов;
- развитое сельское хозяйство, обеспечивающее доступ к остаткам урожая и насекомым;
- наличие населённых пунктов [9, 10], предоставляющих дополнительные источники пищи и укрытия;
- географическое положение Донбасса на пересечении потенциальных миграционных путей, что может способствовать тому, что часть птиц, направляющихся на юг, решает остаться, если условия оказываются благоприятными.

Кроме того, к возможным механизмам инверсии миграционного поведения могут относиться:

- индивидуальная адаптация, когда отдельные особи, обладающие большей устойчивостью к холоду или лучшими навыками поиска пищи в зимних условиях, могут успешно зимовать и передавать эти поведенческие паттерны потомству;
- социальное обучение, позволяющее молодым птицам учиться у более опытных особей, остающихся на зимовку, перенимая их поведенческие стратегии;
- изменение генетической предрасположенности, в долгосрочной перспективе обеспечивающее естественный отбор, способствующий увеличению доли особей с генетической предрасположенностью к более коротким миграциям или оседлости.

Однако следует отметить и потенциальные риски, связанные с такой адаптацией. Например, оседлые популяции могут стать более уязвимыми к внезапным и экстремальным погодным явлениям, таким как сильные и продолжительные морозы или

обильные снегопады, которые могут привести к массовой гибели птиц из-за нехватки корма и невозможности найти укрытие. Кроме того, концентрация большого количества птиц на ограниченной территории в зимний период может способствовать распространению заболеваний и паразитов, что также может негативно сказаться на численности популяции.

Перелеты птиц — одно из самых завораживающих явлений природы, вызывающее восхищение и порождающее множество научных вопросов. Среди них — загадка их удивительной навигации, позволяющей преодолевать тысячи километров и точно возвращаться в родные края. Традиционные объяснения фокусируются на магнитных полях Земли, солнечном компасе, звездах и даже запахах. Однако все более актуальным в этом сложном процессе становится рассмотрение роли ноосферы [11] — сферы разума, охватывающей Землю, — предложенное В. И. Вернадским и П. Тейяром де Шарденом, которые описывают эволюционную стадию развития биосферы, где человеческая мысль и деятельность становятся доминирующей геологической силой. В более широком смысле, ноосфера может быть интерпретирована как информационное поле Земли, включающее в себя не только физические, но и ментальные, энергетические и информационные аспекты.

Применительно к навигации птиц ноосфера может выступать как:

1. Глобальная информационная сеть, когда птицы как существа, обладающие развитыми сенсорными системами и способностью к обучению, могут быть чувствительны к тонким информационным потокам, циркулирующим в ноосфере [12]. Эти потоки могут содержать информацию о географических ориентирах, климатических условиях, миграционных путях предков и даже о присутствии других особей.

2. Коллективное сознание и память, когда в рамках ноосферы можно предположить существование некой формы коллек-

тивного сознания или памяти, передаваемой из поколения в поколение [13, 14]. Это может проявляться в инстинктивных знаниях о миграционных маршрутах, которые не являются чисто генетическими, а скорее записаны в информационном поле.

3. Энергетические и резонансные взаимодействия, которые птицы, как живые организмы, излучают и воспринимают в виде различных форм энергии. Возможно, они способны вступать в резонанс с определенными энергетическими паттернами, присутствующими в ноосфере, которые коррелируют с географическими локациями или миграционными направлениями.

Например, одним из проявлений устойчивого подключения к ноосфере можно считать явление мурмурации [15].

Мурмурация скворцов — это феномен массового синхронного полета огромных стай, насчитывающих тысячи, а иногда и миллионы птиц. Эти завораживающие «танцы» в небе демонстрируют невероятную координацию и способность каждой особи мгновенно реагировать на движения соседей. Именно в этом явлении можно увидеть потенциальные проявления взаимодействия с ноосферой.

1. Синхронность и мгновенная передача информации. Мурмурация не может быть объяснена только простым визуальным контактом. Скорость и точность изменений направления и формы стаи предполагают наличие более быстрого и эффективного механизма передачи информации. Ноосфера, как информационное поле, может служить таким каналом. Каждая птица, будучи частью стаи, может чувствовать намерения и движения других особей через тонкие информационные сигналы, распространяющиеся в ноосфере. Это похоже на то, как отдельные узлы в компьютерной сети мгновенно обмениваются данными.

2. Коллективное принятие решений и навигация. В процессе мурмурации стая действует как единый сверхорганизм. Это предполагает, что решения о направлении движения, уклонении от хищников или

поиске места для ночлега принимаются не индивидуально, а коллективно. Ноосфера может выступать как платформа для такого коллективного разума, где информация поступает от каждой особи.

3. Память стаи и обучение. Мурмурации часто происходят в одних и тех же местах и по схожим паттернам из года в год. Это может быть объяснено не только индивидуальным опытом птиц, но и записью этих паттернов в ноосфере. Молодые скворцы, присоединяясь к стае, могут считывать эту коллективную память, интуитивно понимая оптимальные траектории и формы движения, даже без прямого обучения от старших особей. Это своего рода информационный след, оставленный предыдущими поколениями.

Предположение об отказе скворцов от традиционных миграций в 2025 году является гипотетическим, но его можно обосновать с точки зрения влияния ноосферы, особенно учитывая текущие и потенциальные геополитические и социокультурные изменения [16].

1. Накопление негативной информации в ноосфере. Территории России и Донбасса в последние годы стали эпицентром значительных социальных, политических и военных потрясений. Человеческая деятельность, связанная с конфликтами, страданиями, разрушениями, генерирует мощные потоки негативной энергии и информации. Эти потоки, будучи частью ноосферы, могут создавать информационные аномалии или шумы, которые воспринимаются птицами.

2. Энергетические поля. Военные действия сопровождаются не только физическими разрушениями, но и мощными энергетическими выбросами (взрывы, работа техники, человеческие эмоции). Эти энергетические поля могут нарушать тонкие энергетические паттерны, на которые ориентируются птицы.

3. Информационный диссонанс. Ноосфера, насыщенная информацией о нестабильности, опасности и непредсказуемости,

может создавать у птиц ощущение неправомерности или небезопасности традиционных маршрутов. Это может быть воспринято как сигнал к изменению поведения.

4. Изменение коллективного разума скворцов. Если значительная часть скворцов, обитающих на этих территориях, подвергается воздействию негативных информационных потоков, это может привести к изменению их коллективного разума или «инстинктивного» поведения.

5. Сигнал опасности. Ноосфера может транслировать устойчивый сигнал опасности, который перевешивает традиционные инстинкты к миграции. Птицы могут чувствовать, что путь на юг стал более рискованным или что условия на традиционных зимовках изменились.

6. Адаптация к новым условиям. В условиях постоянного стресса и изменения окружающей среды ноосфера может способствовать формированию новых адаптивных стратегий. Если на территориях России и Донбасса к 2025 году сформировались условия, позволяющие скворцам выживать зимой (например, доступность корма, отсутствие сильных морозов, снижение хищничества из-за изменения экосистем), то ноосфера могла подсказать им, что перелёт не является необходимым.

7. Влияние человеческого сознания. Человеческое сознание, являясь ключевым элементом ноосферы, может косвенно влиять на поведение птиц.

8. Изменение ландшафта и ресурсов. Деятельность человека (сельское хозяйство, урбанизация, военные действия [17]) изменяет ландшафт и доступность ресурсов. Если на территориях России и Донбасса появились новые источники пищи или укрытия, это может быть фактором, удерживающим скворцов.

9. Эмпатический резонанс. Можно предположить, что птицы, будучи частью биосферы, могут вступать в некий эмпатический резонанс с доминирующими настроениями и состояниями человеческого общества. Если на этих территориях преобладает

состояние неопределённости, тревоги или, наоборот, некое новое, устойчивое состояние, это может отразиться на их поведении. Например, если человеческое общество на этих территориях демонстрирует повышенную адаптивность и стремление к выживанию в новых условиях, это может косвенно стимулировать аналогичные адаптивные стратегии у птиц, включая отказ от традиционных миграций.

Вопрос о том, как именно птицы могут воспринимать информацию из ноосферы, остается открытым и требует дальнейших исследований. Однако можно выдвинуть несколько гипотез:

1. Тонкие энергетические поля. Птицы обладают высокоразвитыми сенсорными системами, способными воспринимать широкий спектр физических полей, включая магнитные, электрические и, возможно, даже гравитационные аномалии. Ноосфера, как информационное поле, может проявляться через тонкие изменения в этих физических полях, которые улавливаются птицами. Например, изменения в электромагнитном фоне, вызванные интенсивной человеческой деятельностью, могут служить индикатором нестабильности.

2. Квантовые эффекты. Некоторые теории предполагают, что сознание и информация могут быть связаны с квантовыми явлениями. Возможно, птицы, как и другие живые организмы, способны использовать некие квантовые механизмы для доступа к информации, содержащейся в ноосфере. Это может объяснять мгновенную синхронность мурмурации, где информация передается быстрее, чем это возможно через обычные сенсорные каналы.

3. Биорезонанс. Концепция биорезонанса предполагает, что живые организмы могут вступать в резонанс с определенными частотами и информационными полями. Птицы могут быть настроены на определенные частоты ноосферы, которые несут информацию о безопасности, направлении или наличии ресурсов. Изменения в этих частотах, вызванные человеческой дея-

тельностью, могут нарушать их навигационные способности или стимулировать изменение поведения.

4. Феномен коллективного бессознательного на уровне вида. Подобно концепции коллективного бессознательного К. Г. Юнга для человека [18], можно предположить существование аналогичного феномена на уровне вида или даже экосистемы. Ноосфера может быть хранилищем этой коллективной памяти и опыта, доступ к которой осуществляется через инстинктивные механизмы. В случае скворцов, коллективное бессознательное может содержать информацию о тысячелетних миграционных путях, но также быть чувствительным к новым, доминирующим информационным паттернам, которые могут переписать или модифицировать эти инстинктивные программы.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Наблюдаемый отказ скворцов от традиционных осенних миграций с территории России, в частности с Донбасса, является многофакторным явлением. Климатические изменения, приводящие к смягчению зимних условий, в сочетании с антропогенным воздействием, формирующим благоприятную кормовую базу и снижающим хищнический пресс, создают условия, при которых зимовка на привычных территориях становится все более жизнеспособной альтернативой дальним миграциям. Энергетическая эффективность и снижение рисков, связанных с перелётом, также играют существенную роль в формировании новой миграционной стратегии. Донбасс, с его специфическими климатическими и ландшафтными особенностями, представляет собой яркий пример региона, где эти факторы проявляются наиболее отчетливо. Дальнейшие исследования, включающие долгосрочные наблюдения за популяциями скворцов, генетические анализы и детальное изучение кормовой базы в зимний период, необходимы для полного понимания механизмов и долгосрочных последствий этой инверсии миграционного пове-

дения. Изучение данного феномена имеет важное значение не только для орнитологии, но и для понимания более широких экологических процессов, связанных с адаптацией видов к изменяющимся условиям окружающей среды [19, 20].

Статистические данные, полученные в результате многолетних исследований, ясно показывают, что выживаемость птиц во время миграции находится под постоянной угрозой. Потеря массы тела, неблагоприятные погодные условия, хищничество, деградация мест остановок и, что особенно важно, растущее антропогенное воздействие — все эти факторы в совокупности создают сложную картину, требующую немедленного внимания и скоординированных усилий по сохранению. Понимание этих научных данных является первым шагом к разработке эффективных стратегий защиты мигрирующих птиц и сохранению этого удивительного природного явления для будущих поколений.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на количественную оценку влияния каждого из перечисленных факторов. Например, необходимо провести детальный анализ температурных режимов и снежного покрова на Донбассе в зимний период за последние десятилетия, а также сравнить их с данными из традиционных мест зимовки скворцов. Параллельно следует изучать состав и доступность кормовой базы для скворцов в осенне-зимний период на территории России, с акцентом на Донбасс, используя методы анализа содержимого желудков, наблюдения за пищевым поведением и оценку наличия насекомых и растительных остатков.

Важным направлением исследований является также изучение генетической структуры популяций скворцов, обитающих на территории России. Сравнение генетического материала птиц, остающихся на зимовку, с птицами, совершающими дальние миграции, может выявить наличие генетических маркеров, связанных с адап-

тацией к более холодным условиям или с изменением миграционного поведения.

Кроме того, необходимо провести сравнительный анализ рисков и энергетических затрат, связанных с миграцией и зимовкой. Это может быть достигнуто путём использования современных методов телеметрии и биомониторинга, позволяющих отслеживать перемещения птиц, оценивать их энергетические затраты и выживаемость на различных этапах миграционного цикла.

В контексте гипотетического отказа скворцов от перелёта в 2025 году, ноосферный подход предлагает не просто констатацию факта, а попытку объяснить его как результат сложного взаимодействия биологических инстинктов, индивидуального и коллективного опыта птиц с динамично меняющимся информационным и энергетическим ландшафтом Земли. Если территории России и Донбасса действительно станут очагом повышенной информационной напряжённости и энергетических аномалий, то ноосфера может транслировать скворцам сигнал о том, что традиционные миграционные маршруты стали менее предсказуемыми и более опасными, чем оставаться на месте и адаптироваться к новым условиям.

Таким образом, мурмурация скворцов, как яркий пример коллективного поведения и синхронной навигации, может быть не только демонстрацией биологических адаптаций, но и отражением более глубоких процессов взаимодействия живых существ с ноосферой. Аномалии в миграционном поведении, подобные предполагаемому отказу от перелёта в 2025 году, могут служить индикаторами существенных изменений в этом глобальном информационном поле, вызванных, в первую очередь, деятельностью человека. Изучение этих явлений позволит лучше понять не только мир природы, но и наше собственное место и влияние на планету.

Перспективное направление развития работ по изучению роли ноосферы в ориентации птиц при перелетах, особенно в контексте аномальных изменений поведения, от-

крывает новые горизонты для науки. Это требует междисциплинарного подхода, объединяющего орнитологию, этологию, физику, информатику и даже философию.

Необходимо проводить более детальный мониторинг миграционных путей птиц, сопоставляя их с геополитическими, социальными и энергетическими изменениями на Земле. Использование спутниковых данных, биометрических датчиков и методов машинного обучения может помочь выявить корреляции между поведением птиц и ноосферными изменениями.

Разработка экспериментов, направленных на изучение влияния различных информационных полей на поведение птиц, может дать ценные данные. Например, можно исследовать реакцию птиц на искусственно созданные электромагнитные поля, имитирующие информационный шум или сигналы опасности.

Дальнейшее развитие теоретических основ ноосферы, включая ее физические и информационные аспекты, поможет лучше понять механизмы взаимодействия живых систем с глобальным информационным полем.

### Список источников

1. Доржиев Ц. З., Саая А. Т. Распространение и экология скворца *STURNUS VULGARIS* в Южной Сибири // *Природа внутренней Азии*. 2024. № 1 (27). С. 33–49. DOI: 10.18101/2542-0623-2024-1-33-49 EDN NPMSTD
2. Петров В. С., Заболотный Н. Л., Хохлов А. Н. О зимовке скворца *STURNUS VULGARIS* на Северо-Западном Кавказе // *Русский орнитологический журнал*. 2022. Т. 31. Экспресс-выпуск. С. 3402–3412. EDN THQGAT
3. Голубева А. В Петербурге заметили тех, кто обычно зимует в Западной Европе [Электронный ресурс] // *Фонтанка.ру* : [сайт]. [2026]. URL: <https://www.fontanka.ru/2025/12/18/76177324/> (дата обращения: 26.01.2026).
4. Комарова Ю. Скворцы прилетели [Электронный ресурс] // *Вечерняя Москва* : [сайт]. [2026]. URL: <https://edupressa.vrn.ru/junkory/skvortsy-prileteli/> (дата обращения: 27.01.2026).
5. Левченко Э. П., Давиденко В. А., Ноженко А. А. *Физика Земли: лабораторно-практические работы*. Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2019. 208 с.
6. Чернецов Н. С. *Миграция воробьиных птиц: остановки и полёт*. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2010. 173 с. EDN QKTNRJ
7. Левченко Э. П., Кучеренко Л. Э. Гипотетический анализ основных причин глобального изменения климата с учетом экологической катастрофы в прошлом // *Сборник материалов XVI студенческой экологической научно-практической конференции ФГБОУ ВО «ДонГТУ» : доклады участников XVI студенческой экологической научно-практической конференции*. Алчевск : ФГБОУ ВО «ДонГТУ», 2025. С. 36–38. EDN FFAKFL
8. Левченко Э. П. Перспективы управления агрегатным состоянием водных ресурсов на основе глобального потепления климата // *Экологический вестник Донбасса*. 2021. № 2. С. 28–37. EDN NMPGKV
9. *Экология мегаполисов и промышленных агломераций. Практические работы : учебное пособие* / Э. П. Левченко, В. С. Федорова, А. Т. Павленко, А. А. Ноженко. Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. 140 с.
10. *Экология мегаполисов и промышленных агломераций. Лабораторные работы : учебное пособие* / Э. П. Левченко, В. С. Федорова, А. Т. Павленко, А. А. Ноженко. Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. 132 с.
11. Вернадский В. И. *Биосфера и ноосфера*. М. : Айрис-пресс, 2012. 576 с.
12. Кучеренко Л. Э. Ноосферное учение как залог коллективной безопасности жизнедеятельности // *Экология и безопасность жизнедеятельности : сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции студентов и школьников*. Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. 2025. С. 315.1–315.5. EDN PELOUX

13. Перспективы ноосферного подхода к экологии / Э. П. Левченко, О. А. Левченко, Л. Э. Кучеренко, А. Т. Павленко // Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства : сборник тезисов докладов IX международной научно-технической конференции. Алчевск : ФГБОУ ВО «ДонГТУ», 2025. С. 357–359. EDN CXSNIB

14. Левченко Э. П., Кучеренко Л. Э. Предпосылки и перспективы развития учения о ноосфере в современных условиях // 65 лет ДонГТИ. Наука и практика. Актуальные вопросы и инновации : сборник тезисов докладов юбилейной международной научно-технической конференции. Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2022. Ч. 2. С. 219–220. EDN JTPZMC

15. Остащенко А. Н., Кузина Е. Г. О мурмурации розовых скворцов *Pastor roseus* и способах охоты балобана *Falco cherrig* на побережье озера Иссык-Куль // Русский орнитологический журнал. 2025. Т. 34. № 2548. С. 2922–2924. EDN RWVSJN

16. Левченко, Э. П., Кучеренко Л. Э. Гипотеза о ноосферном управлении глобальным потеплением климата Земли // Планета — наш дом : сборник тезисов Всероссийской молодёжной научной конференции с международным участием. Алчевск : ФГБОУ ВО «ДонГТУ», 2024. С. 57–59. EDN FXVDTF

17. Кравцова О. А., Павленко А. Т. Природная среда в условиях вооруженных конфликтов // Материалы пула научно-практических конференций. Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского; Керченский государственный морской технологический университет; Луганский государственный педагогический университет; Луганский государственный университет имени Владимира Даля. Керчь : ФГБОУ ВО «КГМТУ», 2023. С. 494–499. EDN QAFAQA

18. Жуков В. Н. К. Г. Юнг: коллективное бессознательное, архетипы. Культура // Образование и право. 2022. № 3. С. 311–325. DOI: 10.24412/2076-1503-2022-3-311-325 EDN KEFAKE

19. Левченко Э. П., Давиденко В. А., Ноженко А. А. Безопасность жизнедеятельности. Лабораторно-практические работы : учебное пособие. Алчевск : Вифлеем, 2020. 260 с. EDN YVANFN

20. Кравцова О. А., Павленко А. Т., Малкин В. Ю. Системный анализ техносферной безопасности в системе «Земля»: коэволюционная перспектива // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. 2023. № 5 (71). С. 83–85. EDN ZQGRYG

© Левченко Э. П., Левченко О. А., Кучеренко Л. Э., 2026

© Павленко А. Т., 2026

**Рекомендована к печати к.б.н., доц. каф. ЭиБЖД ДонГТУ Швыдченко С. С., д.с-х.н., проф. института гражданской защиты ЛГУ им. В. Даля Зубовым А. Р.**

Статья поступила в редакцию 27.02.2026.

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Левченко Эдуард Петрович**, канд. техн. наук, доцент каф. экологии и безопасности жизнедеятельности

Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия, e-mail: levchenckoeduard@yandex.ru

**Павленко Александр Тимофеевич**, канд. техн. наук, доцент, заместитель директора института гражданской защиты

Луганский государственный университет им. В. Даля,  
г. Луганск, Россия

**Левченко Оксана Александровна**, канд. техн. наук, доцент каф. технологии и организации машиностроительного производства

Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия

**Кучеренко Лилия Эдуардовна**, студент каф. машин металлургического комплекса  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия

**Levchenko E. P.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, e-mail: levchenckoeduard@yandex.ru), **Pavlenko A. T.** (Lugansk State University named after V. Dahl, Lugansk, Russia), **Levchenko O. A.**, **Kucherenko L. E.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia)

#### **THE PHENOMENON OF AUTUMN INVERSION OF MIGRATION BEHAVIOR OF THE STARLINGS (STURNUS VULGARIS) IN THE DONBASS TERRITORY: PREREQUISITES AND POSSIBLE MECHANISMS**

*Traditionally, the starlings (Sturnus vulgaris) are migratory birds, making long-distance migrations to southern skies with the onset of the autumn-winter period. However, in recent decades there has been a tendency towards a reduction in the distance of migrations and even towards complete sedentarization of some populations in regions with a temperate climate. This article analyzes the reasons and possible mechanisms for the starlings' abandonment of their traditional autumn migrations from Russia, with a particular focus on the Donbass region. The study examines a range of factors, including climate change, anthropogenic impacts and changes in food potential, that may contribute to the development of a new migratory strategy of this species.*

**Key words:** starling, bird migration, inversion of migration behavior, climatic changes, anthropogenic impacts, food potential, wintering, Donbass, adaptation.

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Levchenko Eduard Petrovich**, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Ecology and Life Safety  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia, e-mail: levchenckoeduard@yandex.ru

**Pavlenko Alexander Timofeyevich**, PhD in Engineering, Assistant Professor, Deputy Director of the Institute of Civil Defense  
Lugansk State University named after V. Dahl,  
Lugansk, Russia

**Levchenko Oksana Aleksandrovna**, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Technology and Organization of Machine-building Engineering  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia

**Kucherenko Liliya Aleksandrovna**, Student of the Department of Metallurgical Complex Machines  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia

**\*Климов Ю. С., Павлов В. И., Кулакова С. И.**  
Донбасский государственный технический университет  
\*E-mail: klimov.bio@gmail.com

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ХРОНИЧЕСКОГО БИОТЕСТИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД ДОНБАССА

Представлена методика проведения 21-дневного хронического биотестирования с использованием *Daphnia magna* Straus для интегральной оценки токсичности природных вод Донбасса, загрязненных тяжелыми металлами. Методика учитывает проблемы генетической неоднородности популяций, предлагая подход к селекции чувствительных генотипов. Описаны условия теста, процедура создания чувствительной тест-линии, исследуемые параметры (длина тела, длина хвостовой иглы, плодовитость, абортивные яйца, характер движений, наполнение кишечника, ЧСС, вариабельность ритма), протокол анализа данных в ImageJ, ключевые токсикологические показатели (NOEC, LOEC, EC<sub>50/20/10</sub>) и статистическая обработка. Разработанная методика позволяет регистрировать сублетальные эффекты при концентрациях токсикантов на несколько порядков ниже летальных, что повышает диагностическую ценность биотестирования. Приведены критерии валидности теста и ожидаемые результаты.

**Ключевые слова:** *Daphnia magna*, хроническое исследование, биотестирование, тяжелые металлы, селекция чувствительных генотипов, сублетальные эффекты, частота сердечных сокращений, кардиотоксичность, морфометрический анализ, абортивные яйца, эмбриотоксичность.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Проблема загрязнения поверхностных водных источников тяжелыми металлами (ТМ) приобретает особую остроту в регионах с интенсивной историей горнодобывающей промышленности. На территории восточного Донбасса закрытие угольных шахт и последующее затопление выработанных пространств привело к активизации гидрохимических процессов, в результате которых в речную сеть поступают растворимые соли ТМ и токсических микроэлементов. Это создает реальные риски угнетения водных экосистем и распространения токсичности по трофической цепи [1].

В этих условиях химический анализ, являясь основным методом оценки качества воды, часто оказывается недостаточным, поскольку он лишь констатирует наличие или отсутствие определенных химических элементов в пробе, но не позволяет оценить их комбинированное воздействие на живые организмы [2]. Наиболее эффективным инструментом для инте-

гральной оценки токсичности природных вод является биотестирование с использованием чувствительных тест-организмов, среди которых широкое признание получил планктонный рачок *Daphnia magna* Straus (*Daphnia magna*).

*Daphnia magna* является типичным представителем зоопланктона малых рек и рекомендуется в качестве базового организма для биотестирования благодаря ряду преимуществ: фильтрационный тип питания, хорошо развитые кровеносная и нервная системы, что позволяет с определенной долей достоверности экстраполировать результаты токсикологических исследований на других многоклеточных представителей экосистем [3].

Однако основополагающей проблемой биотестирования является обеспечение достаточно высокой и, главное, одинаковой физиологической чувствительности тест-организмов. Существующие стандартизированные методики (например, ГОСТ Р 56236-2014, РД 52.24.868-2017) предусматривают использование синхро-

низированных культур. Тем не менее, анализ литературных данных [4–7], в частности, исследований Иркутского государственного университета и Лимнологического института СО РАН, показывает, что даже в одной природной популяции могут присутствовать особи с различной генотипической структурой и, следовательно, с разной морфофизиологической реакцией на ухудшение качества среды обитания.

Более того, длительное культивирование синхронизированной популяции, полученной от одного генотипа, может приводить к снижению ее исходной чувствительности к токсикантам [8]. Эти факторы вносят неопределенность в результаты биотестирования и требуют разработки дополнительных методических приемов для подготовки тест-культур.

Особую сложность представляет оценка хронического токсического действия вод малых рек восточного Донбасса. Многие тяжелые металлы даже в концентрациях, не вызывающих острой гибели (ниже ПДКв), способны подавлять репродуктивную функцию, фильтрационную активность и влиять на рост дафний [1, 9, 10]. При хроническом воздействии на первый план выходят эффекты биоаккумуляции, мутагенности и функциональной кумуляции, а также синергетические и антагонистические взаимодействия микроэлементов в шахтной воде, которые невозможно выявить в краткосрочных тестах на летальность [1].

Таким образом, возникает необходимость в разработке детализированной методики проведения хронического исследования по *Daphnia magna*, которая учитывала бы не только стандартные требования к выживаемости и репродуктивной способности, но и включала бы методические решения для:

- формирования тест-популяции с гарантированно высокой и одинаковой чувствительностью;
- контроля возможного дрейфа чувствительности в процессе длительного культивирования;

- оценки сублетальных эффектов (биоаккумуляция, влияние на плодовитость, кардиоваскулярные нарушения), которые критически важны для адекватной оценки экологического риска для гидроэкосистем малых рек.

**Постановка задачи. Цель настоящей методики** — структурированное описание процедуры проведения 21-дневного хронического эксперимента с *Daphnia magna*, направленного на оценку хронического токсического действия воды малых рек восточного Донбасса (или модельных растворов тяжёлых металлов) на выживаемость, репродуктивную способность, морфометрические показатели и кардиоваскулярную функцию *Daphnia magna* с использованием тест-линии, предварительно охарактеризованной по уровню максимальной физиологической чувствительности.

**Задачи исследования:**

1. Обосновать необходимость комплексного подхода к оценке хронического токсического воздействия тяжелых металлов на *Daphnia magna* с учётом региональной специфики малых рек восточного Донбасса.
2. Систематизировать современные методические подходы к формированию тест-культур с заданным уровнем чувствительности (генотипический отбор, селекция чувствительных линий).
3. Разработать протокол регистрации и анализа морфометрических, репродуктивных и кардиоваскулярных показателей *Daphnia magna* при помощи микроскопии с использованием программного обеспечения ImageJ.
4. Представить детализированное описание этапов проведения хронического эксперимента с указанием условий культивирования, критериев валидности и методов статистической обработки.
5. Охарактеризовать диагностическую значимость различных тест-функций (выживаемость, плодовитость, наличие абортных яиц, частота сердечных сокращений, морфометрические параметры) для

оценки сублетальных эффектов хронического загрязнения.

**Объект исследования** — процесс хронического биотестирования водных сред с использованием тест-культуры *Daphnia magna*, полученной из природных популяций малых рек восточного Донбасса

**Предмет исследования** — комплекс методических приемов и тест-функций (морфометрических, репродуктивных, кардиоваскулярных) для оценки хронического токсического воздействия ТМ на *Daphnia magna*, включая процедуры генотипического отбора, видеорегистрации и анализа изображений в программе ImageJ.

**Методы исследования.** В токсикологических исследованиях традиционно выделяют два основных подхода: острый (краткосрочный) и хронический (длительный) эксперименты. Острые тесты, продолжительностью обычно 24–48 (до 96) часов, направлены на оценку летальных эффектов — гибели организмов в условиях высоких концентраций токсиканта и позволяют рассчитать ЛК<sub>50</sub> (полулетальную концентрацию).

Хронический эксперимент предполагает длительное (21 день и более) воздействие на тест-организмы в диапазоне сублетальных концентраций. Это даёт возможность оценить не только выживаемость, но и интегральные показатели, такие как репродуктивная функция, физиологический статус и поведенческие реакции. Хронический тест считается более информативным для целей экологического нормирования, поскольку позволяет выявить эффекты при концентрациях, близких к реально встречающимся в природных водах.

Ниже представлено детальное описание этапов предлагаемой методики хронического биотестирования с использованием предварительно селекционированной тест-линии *Daphnia magna*.

**1. Создание тест-линии *Daphnia Magna Straus* с повышенной чувствительностью к тяжёлым металлам.** Данный этап биотестирования является

ключевым, поскольку чувствительность тест-объекта к токсическим веществам в значительной степени определяется его генетическими особенностями. Согласно данным [11–13], природные популяции дафний характеризуются выраженной генетической неоднородностью, проявляющейся в фенотипической пластичности количественных физиологических признаков. Это позволяет рассматривать каждую партеногенетическую линию как отдельный генотип с уникальной функциональной реакцией на стрессовые факторы.

В основе формирования чувствительной тест-линии необходимо использовать клональный подход, основанный на способности *Daphnia magna* к партеногенетическому размножению, при котором потомство является генетически идентичным материнской особи. Такой подход обеспечивает генетическую стабильность линии и позволяет фиксировать наследуемые различия по физиологической чувствительности к воздействию токсикантов, в том числе ТМ (Cd, Cu, Zn, Pb).

Важным условием методики является разграничение наследуемой чувствительности и временного физиологического ослабления. Для этого предусмотрен этап восстановления в чистой среде и подтверждение стабильности признака в нескольких поколениях без экспозиции.

**Изложение материала. 1.1. Получение исходного генофонда.** Исходным материалом служат половозрелые самки *Daphnia magna*, отобранные из природных популяций водоемов малых рек восточного Донбасса (не менее 5–8 географически удаленных точек для обеспечения максимального генетического разнообразия).

Минимальный объем выборки на данном этапе должен составлять не менее 50–100 особей для сохранения репрезентативности исходного генофонда.

После отбора рачки культивируются в стандартных лабораторных условиях не менее двух поколений без воздействия ТМ. Это позволяет минимизировать влия-

ние предшествующих экологических факторов на результаты селекции.

1.2. *Выбор концентрации и экспозиция в щадящем режиме для выявления чувствительности.* Для выявления генотипических различий используется хронический сублетальный стресс, который, что принципиально важно, не должен вызывать массовой гибели, поскольку селекция на основе высокой смертности приводит к отбору устойчивых форм. В данной методике выявление наиболее чувствительных особей проводится на основе различий в сублетальных показателях.

1.2.1. *Выбор концентрации.* Предварительно определяется концентрация, близкая к NOEC или EC<sub>10</sub>, на стандартной лабораторной культуре. Концентрация должна:

- не вызывать массовой гибели (смертность не более 10–15 %);
- снижать плодовитость или замедлять развитие у части особей;
- обеспечивать выявление вариабельности реакции.

Использование диапазона EC<sub>10</sub>–EC<sub>20</sub> предпочтительнее, чем ориентирование на NOEC, поскольку данный интервал более чувствителен к сублетальным эффектам.

1.2.2. *Химические свойства металлов.* Различные металлы имеют неодинаковую токсичность для дафний. В таблице 1 приведены ориентировочные диапазоны для наиболее распространенных тяжелых металлов [1, 9, 13].

1.2.3. *Факторы, повышающие чувствительность.* Для усиления эффекта рекомендуется использовать мягкую воду (жесткость менее 50 мг CaCO<sub>3</sub>/л), поскольку доказано, что низкая жесткость воды повышает биодоступность и токсичность металлов для дафний в 2–3 раза [13, 14].

1.3. *Изоляция и размножение чувствительных линий.* На данном этапе осуществляется отделение генотипов, проявивших наибольшую выраженность сублетальных эффектов при сохранении способности к размножению.

Таблица 1  
Ориентировочные концентрации для селекции  
(на основе литературных данных)

Металл	Концентрация в мг/дм <sup>3</sup>
Cd	(NOEC) 0,00017–0,0005 мг/дм <sup>3</sup>
	(LOEC) 0,001–0,003 мг/дм <sup>3</sup>
	(рабочая) 0,0003–0,0008 мг/дм <sup>3</sup>
Cu	(NOEC) 0,005–0,01 мг/дм <sup>3</sup>
	(LOEC) 0,015–0,03 мг/дм <sup>3</sup>
	(рабочая) 0,008–0,015 мг/дм <sup>3</sup>
Zn	(NOEC) 0,03–0,07 мг/дм <sup>3</sup>
	(LOEC) 0,1–0,2 мг/дм <sup>3</sup>
	(рабочая) 0,05–0,08 мг/дм <sup>3</sup>
Pb	(NOEC) 0,01–0,03 мг/дм <sup>3</sup>
	(LOEC) 0,04–0,08 мг/дм <sup>3</sup>
	(рабочая) 0,02–0,035 мг/дм <sup>3</sup>
Ni	(NOEC) 0,01–0,03 мг/дм <sup>3</sup>
	(LOEC) 0,04–0,1 мг/дм <sup>3</sup>
	(рабочая) 0,02–0,04 мг/дм <sup>3</sup>

*Примечание:* значения могут существенно варьировать в зависимости от жесткости воды, pH и других факторов.

Важно подчеркнуть, что отбор осуществляется не по факту гибели, а по устойчиво проявляющимся сниженным жизненным показателям.

1.3.1. *Перевод в индивидуальные сосуды.* После 1–2 поколений культивирования в присутствии низкой концентрации металла (этап 1.2) отбирают не менее 10–20 взрослых самок и рассаживают их по индивидуальным сосудам в чистую среду без ТМ [8].

Этот этап необходим для исключения прямого токсического воздействия; выявления наследуемости признака; устранения кратковременных физиологических нарушений.

1.3.2. *Оценка жизненных показателей.* В чистой среде проводится оценка каждой клональной линии по ключевым параметрам: выживаемость; плодовитость (общее количество потомства за 21 день); время появления первого помета; длина тела.

Сохранение пониженных показателей по сравнению со средним популяционным уровнем после этапа восстановления свидетельствует о вероятной генетической

обусловленности повышенной чувствительности.

1.3.3. Критерий отбора. Для дальнейшей работы отбираются линии, показавшие в предыдущем поколении (в присутствии ТМ) наихудшие результаты: самую низкую плодовитость или наиболее выраженные отклонения в развитии.

Отбор проводится при условии поддержания достаточной численности клона (не менее 15–20 особей), чтобы исключить и инбридинговую депрессию.

*1.4. Консолидация признака и подтверждение чувствительности.*

1.4.1. Направленное размножение. Потомство (неониды) от отобранных «чувствительных» линий повторно помещается в среду с низкой концентрацией ТМ (как на этапе 1.2). Цикл «экспозиция → изоляция в чистую среду → отбор по наихудшим показателям» повторяется в течение 3–5 поколений для закрепления признака повышенной чувствительности, что достаточно для консолидации полигенно обусловленных признаков [15].

Признак считается закреплённым, если:

- реакция линии на металл статистически воспроизводима;
- чувствительность сохраняется после поколения без воздействия;
- различия по сравнению с исходной популяцией стабильны.

Важно избегать повышения концентрации ТМ в процессе селекции, чтобы не запустить адаптивный отбор устойчивости.

1.4.2. Финальное тестирование. Объем выборки должен составлять не менее 10–15 особей на каждую тестируемую линию и концентрацию. Проводится стандартный хронический тест с металлом при параллельном тестировании:

- новой селекционированной «чувствительной» линии;
- исходной гетерогенной популяции (контроль);
- стандартной лабораторной культуры (контроль).

Сравниваются значения  $EC_{10}$  и  $EC_{20}$  (предпочтительно для хронического теста), NOEC/LOEC.

Селекция считается успешной при статистически достоверном снижении  $EC_{10}/EC_{20}$  и LOEC у новой линии по сравнению с контрольной ( $p < 0,05$ ).

1.4.3. Контроль стабильности признака. В процессе культивирования селекционированной линии рекомендуется ежеквартально проводить калибровку чувствительности на эталонном токсиканте ( $K_2Cr_2O_7$ ) для своевременного выявления возможного дрейфа чувствительности [16]. При обнаружении снижения чувствительности более чем на 20 % от исходных значений следует повторить цикл селекции.

**2. Оборудование и условия проведения теста.** Для проведения хронического исследования требуется комплекс оборудования, обеспечивающий стандартизированные условия культивирования, регистрацию и последующую обработку полученных данных [17]:

- микроскоп, оснащённый цифровой камерой для видеорегистрации;
- климатическая камера с точностью поддержания температуры  $\pm 1$  °С;
- осветители с таймером, рН-метр, оксиметр;
- химически инертная посуда для культивирования (объём 50–250 мл), фильтры мембранные (0,45 мкм), предметные стекла;
- компьютер с установленным ПО ImageJ.

Для минимизации влияния факторов среды и выявления генотипически обусловленных различий все клональные линии содержатся в одинаковых условиях согласно ФР 1.39.2007.03222 (табл. 2).

**3. Выбор исследуемых параметров для исследования при микроскопии.** В качестве исследуемых параметров были выбраны показатели, доступные для прямого наблюдения и количественной либо полуколичественной оценки без применения дополнительных методов фиксации окрашивания.

Таблица 2

Условия проведения теста согласно ФР [18]

Параметр	Условие проведения
Тип теста	Полустатический (с возобновлением среды 3 раза в неделю)
Длительность	21 день
Температура	20 ± 1 °С (строгий контроль для исключения температурного влияния на ЧСС [20])
Освещение	16 часов света / 8 часов темноты
Среда	Для контроля — синтетическая среда (по OECD). Для тестовых растворов — натуральная вода из малых рек восточного Донбасса (после фильтрации) или модельные растворы солей ТМ
Кормление	Ежедневное кормление водорослями ( <i>Chlorella vulgaris</i> ) в стандартизированном количестве (0,1–0,2 мг особь/день)
Плотность посадки	Индивидуальное содержание (1 особь на 50 мл среды) или групповое (не более 20–25 особей на 1 л)

При увеличении ×30–40 отчётливо визуализируются основные анатомические структуры *Daphnia magna* размером от 0,1 до 0,2 мм (рис. 1). Этого вполне достаточно для регистрации морфологических и функциональных изменений, возникающих в ответ на воздействие ТМ в водной среде.

Таким образом, использование микроскопа с увеличением ×40 определяет выбор морфофизиологических показателей, ориентированных на выявление сублетальных токсических эффектов, позволяя связать наблюдаемые изменения в организме *Daphnia magna* с воздействием ТМ, присутствующих в исследуемых водных пробах.

Ниже представлена характеристика выбранных параметров, обоснованная с учётом данных литературы.

**3.1. Морфометрические показатели.** Морфологические признаки, такие как длина тела, высота головного шлема и длина хвостовой иглы (рис. 2), формиру-

ются в процессе постэмбрионального развития и зависят от интенсивности обменных процессов, скорости линек и состояния кальциевого обмена. Поскольку тяжёлые металлы нарушают ферментативную активность, ионный баланс и метаболизм, их хроническое воздействие неизбежно сказывается на ростовых процессах.

3.1.1. Длина тела рассматривается как основной морфометрический показатель хронической токсичности (измеряется от переднего края головы до основания хвостовой иглы). Длина тела является интегральным показателем благополучия особи. Согласно наблюдениям А. С. Ольковой [16, 17], её одновременное уменьшение в сочетании с бледной окраской свидетельствует об отклонении абиотических или биотических факторов от оптимальных значений. В условиях хронического токсического воздействия ТМ замедление линейного роста служит надёжным критерием угнетения обменных процессов.



Рисунок 1 — *Daphnia magna* при увеличении ×30–40

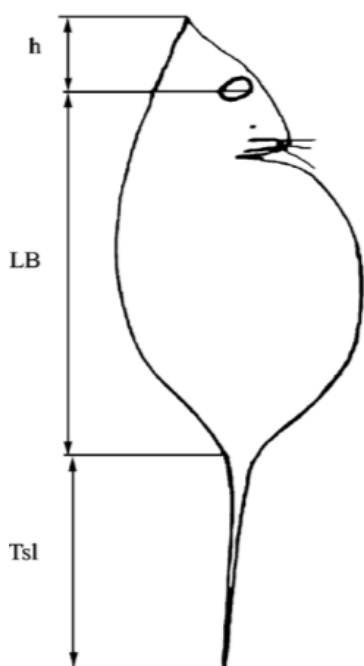


Рисунок 2 — Схема промеров для *Daphnia magna* : LB — длина тела; h — высота шлема; Tsl — длина хвостовой иглы

3.1.2. Длина хвостовой иглы представляет интерес не только как ростовой параметр, но и как потенциальный маркер генотипической изменчивости. В исследованиях, посвященных адаптации дафний к условиям окружающей среды, этот признак используется для выделения различных генотипов внутри популяции на основе корреляции с физиологическими реакциями [4, 5].

Изменение длины иглы в ответ на хронический стресс может отражать как непосредственное токсическое действие (нарушение кальциевого обмена при линьке), так и реакцию организма на акклиматизацию.

3.1.3. Высота головного шлема характеризует особенности морфогенеза и пластичность фенотипа. Данный параметр чувствителен к изменениям среды и может изменяться при длительном токсическом воздействии. Высота шлема рассматривается как дополнительный индикатор, поскольку показатель обладает выраженной зависимостью от температуры, плотности культуры и генотипических особенностей линии.

3.2. Физиологические показатели репродуктивной функции. Репродуктивная функция является одной из самых чувствительных к хроническому воздействию токсикантов. При увеличении  $\times 40$  становится возможным прямой подсчет следующих показателей, рекомендованных [16] для оценки «здоровья» тест-культуры.

3.2.1. Количество эмбрионов в выводковой камере. Прямой подсчет яиц и эмбрионов у живых самок позволяет на ранних этапах выявить снижение репродуктивного потенциала до того, как это скажется на общем количестве появившейся молоди.

3.2.2. Наличие и количество abortивных (неразвившихся) яиц. Это один из ключевых и наиболее информативных параметров. Abortивные яйца представляют собой темные сферы диаметром 0,1–0,2 мм, различимые даже невооруженным глазом, а под микроскопом — особенно четко (рис. 3).

Регулярное появление abortивных яиц в опытных группах по сравнению с контролем является прямым доказательством эмбриотоксического эффекта исследуемой воды, вызванного ТМ. Количество abortивных яиц, превышающее 20 % от суммарного числа молоди, свидетельствует о резком ухудшении состояния лабораторной популяции.



Рисунок 3 — Появление abortивных яиц в культуре *Daphnia magna*

**3.3. Поведенческие и витальные показатели.** Двигательная активность и общее состояние организма, оцениваемые визуально, служат ранними индикаторами стресса, позволяющими зарегистрировать токсический эффект задолго до появления необратимых изменений на морфологическом или репродуктивном уровне. Поведенческие реакции являются наиболее чувствительными и быстро реализуемыми, что делает их ценным инструментом для экспресс-диагностики.

**3.3.1. Характер движений и локомоторная активность.** Отклонением от нормы считаются слишком резкие спонтанные движения, длительные вращательные движения у поверхности воды или движение «на боку». Фиксация таких паттернов поведения в тестируемых пробах указывает на нейротоксическое действие загрязнителей.

**3.3.2. Наполнение и перистальтика кишечника.** У здоровой, активно питающейся дафнии кишечник имеет темно-зеленый цвет и хорошо наполнен (рис. 4). Пустой или слабо наполненный кишечник свидетельствует о снижении пищевой активности, вызванном интоксикацией, и может быть зафиксирован микроскопически до наступления необратимых изменений.

**3.3.3. Изменение окраски покровов.** Появление розоватого или красноватого оттенка у дафний, в отличие от нормальной желто-коричневой окраски, является признаком хронической гипоксии (рис. 5). В контексте воздействия ТМ это может быть следствием повреждения жаберного эпителия или нарушения транспорта кислорода.

**3.4. Физиологический показатель — частота сердечных сокращений (ЧСС).** ЧСС у *Daphnia magna* является высокочувствительным функциональным показателем, отражающим состояние метаболических процессов и реакции организма на стрессорное воздействие. Благодаря прозрачности карапакса и дорсальному расположению сердца, его сокращения отчетливо визуализируются при увеличении  $\times 40$ , что позволяет применять видеорегистрацию для количественной

оценки ЧСС. Сердце дафний, расположенное в спинной части тела между кишечником и выводящей камерой, функционирует миогенно, что делает его реакцию на внешние воздействия сопоставимой с реакцией сердечной мышцы позвоночных животных и повышает трансляционный потенциал получаемых данных [19, 20].



Рисунок 4 — Здоровый хорошо наполненный кишечник у *Daphnia magna*



Рисунок 5 — Вверху: внешний вид дафнии с желто-коричневой окраской (норма). внизу: внешний вид дафнии с красной окраской — признак кислородного голодания

В отличие от классических интегральных показателей (выживаемость, плодовитость), изменение ЧСС относится к числу ранних сублетальных ответов. Исследования на различных гидробионтах демонстрируют, что кардиотоксические эффекты могут регистрироваться при концентрациях токсикантов на несколько порядков более низких, чем вызывающие летальный исход [19]. В частности, для нейротоксичных соединений показано достоверное снижение ЧСС у *Daphnia magna* уже при концентрации 0,1 частей на миллиард (ppb), что подчеркивает диагностическую ценность данного показателя для оценки хронического загрязнения [20]. Помимо частоты сокращений, информативным параметром является вариабельность сердечного ритма, увеличение которой свидетельствует о нарушении нейрогуморальной регуляции и может служить ранним индикатором нейротоксического эффекта ещё до изменения средней ЧСС.

В рамках настоящей методики регистрацию ЧСС необходимо проводить на 7-е, 14-е и 21-е сутки эксперимента в дневное время. Для минимизации влияния двигательной активности на качество видеозаписи допускается кратковременная иммобилизация дафний с использованием 3 % раствора метилцеллюлозы, которая не оказывает значимого влияния на сердечный ритм в течение 30 минут наблюдения [20]. Видеозапись (не менее 30–60 секунд на особь) производится с помощью цифровой камеры, после чего в программе ImageJ с плагинном Time Series Analyzer проводится анализ частоты пульсаций путем регистрации динамического изменения пиксельной интенсивности в области сердца (рис. 6).

**4. Программное обеспечение ImageJ.** Java-ориентированное программное обеспечение для обработки и анализа изображений, разработанное сотрудниками Национального института здравоохранения (НИН, США). Программа предназначена для количественной обработки изображений, полученных методами световой и

электронной микроскопии, и широко применяется в биологических, медицинских и экологических исследованиях [21].

Ключевые характеристики ImageJ приведены в таблице 3.

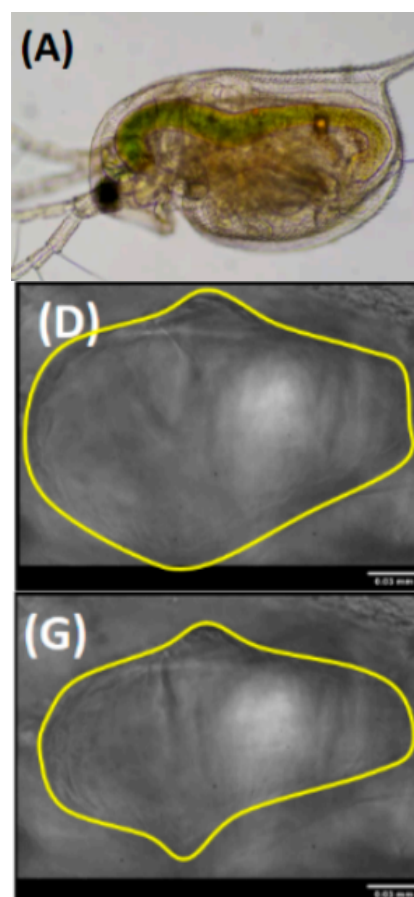


Рисунок 6 — Изображения сердца *Daphnia magna* (A), в стадии диастолы (D) и систолы (G)

Таблица 3  
Ключевые характеристики ImageJ

Характеристика	Описание
Тип лицензии	Общественное достояние (Public Domain), свободное ПО
Платформа	Кроссплатформенное (Windows, macOS, Linux)
Архитектура	Открытая архитектура с поддержкой плагинов и макросов
Поддерживаемые форматы	TIFF, PNG, GIF, JPEG, BMP, DICOM, а также видеоформаты

Функциональные возможности ImageJ: калибровка изображений по масштабу; измерение линейных размеров, площадей и объёмов объектов; анализ яркости и контрастности изображений; обработка временных рядов изображений и видеозаписей; отслеживание движения объектов и построение траекторий; использование плагинов для расширения функциональных возможностей.

Интерфейс программы представлен на рисунке 7.

**4.2. Обоснование использования ImageJ в исследовании.** Применение ImageJ в настоящем исследовании обосновано следующими факторами:

1) Соответствие задачам исследования. ImageJ позволяет количественно оценить выбранные морфофизиологические параметры *Daphnia magna* — морфометрические показатели (длина тела, длина хвостовой иглы), репродуктивные параметры (подсчёт abortивных яиц, эмбрионов) и ЧСС.

2) Валидированная методика. Использование ImageJ для оценки кардиоваскулярной функции у *Daphnia magna* подтверждено рецензируемыми научными публикациями [19, 20]. Кроме того, разработаны специализированные макросы для анализа сократительной активности, такие как MYOCYTER, которые значительно упрощают и автоматизируют процесс обработки видеоданных [22].

3) Работа с имеющимся оборудованием. ImageJ не требует специализированного аппаратного обеспечения и может использоваться с фотографиями (или Screenshot), видеозаписями, полученными при увеличении  $\times 40$ , что соответствует возможностям имеющегося микроскопа.

4) Открытый доступ. Программа распространяется бесплатно, что обеспечивает доступность метода и возможность его воспроизведения в других лабораториях.

5) Расширяемость. При необходимости в ходе исследования могут быть добавлены дополнительные плагины для автоматизации рутинных операций.

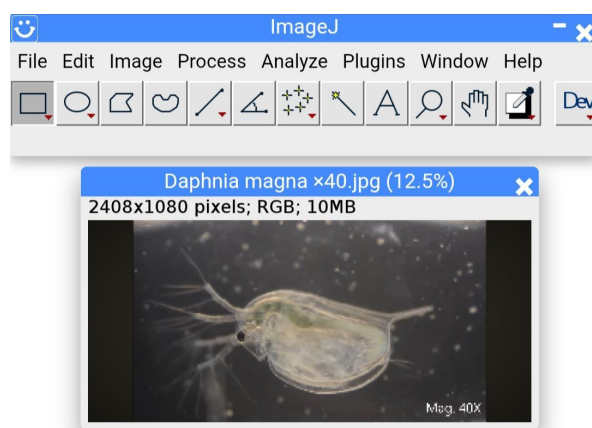


Рисунок 7 — Рабочий интерфейс программы ImageJ

**4.3. Протокол работы с ImageJ.** В рамках данной методики планируется следующий протокол работы с ImageJ:

1) Видеорегистрация: запись сердечной активности дафний с использованием цифровой камеры, установленной на микроскопе ( $\times 40$ ).

2) Импорт и предобработка: загрузка видеофайлов в ImageJ, конвертация в последовательность кадров.

3) Морфометрический анализ: калибровка изображения с использованием объект-микрометра, измерение длины тела и хвостовой иглы с помощью инструментов линейных измерений.

4) Анализ ЧСС: применение плагина Time Series Analyzer для выделения области сердца и построения графика динамики пиксельной интенсивности, по которому рассчитывается частота сокращений (уд/мин).

5) Подсчёт репродуктивных показателей: визуальный подсчёт эмбрионов в выводковой камере и abortивных яиц с использованием инструментов подсчёта объектов.

## 5. Порядок проведения исследования.

**Этап 1. Предварительный этап: отбор чувствительного генотипа**

1) Сбор природной популяции (не менее 5–8 точек).

2) Выделение изолятов и их тестирование при низких концентрациях ТМ (на уровне NOEC).

3) Отбор клона с наибольшей чувствительностью по критериям, описанным в разделе 1.

*Этап 2. Основной этап: хронический тест (21 день).*

1) День 0. Помещение неонидов (возраст <24 ч) отобранного чувствительного клона в тестовые растворы (контроль и разведения исследуемой воды) в индивидуальные сосуды ( $n \geq 10$  на концентрацию).

2) Ежедневно подсчёт и удаление потомства, а также регистрация гибели родителей и визуальная оценка состояния (окраска, поведение, наполнение кишечника).

3) При смене среды (3 раза/неделю):

– контроль pH, температуры, растворённого кислорода;

– отбор проб воды для химического анализа (при необходимости).

4) Дни 7, 14, 21 (видеорегистрация ЧСС):

– индивидуальное помещение дафнии на предметное стекло с каплей 3 % метилцеллюлозы;

– 1-минутная акклиматизация;

– видеозапись (30–60 секунд) области сердца при  $\times 40$ ;

– возвращение дафнии в тестовый сосуд.

5) День 21 (завершение эксперимента):

– окончательный подсчёт потомства;

– измерение длины тела и хвостовой иглы;

– фотографирование и анализ всех показателей;

– фиксация материалов для последующей обработки.

*Этап 3. Обработка полученных данных в ImageJ.*

1) Анализ частоты сердечных сокращений: расчёт ЧСС по формуле:  $\text{ЧСС (уд/мин)} = 60 / \text{средний интервал между пиками}$ .

2) Морфометрический анализ:

– калибровка изображения с использованием объект-микрометра;

– измерение длины тела и хвостовой иглы инструментом Straight Line.

3) Подсчёт репродуктивных показателей: подсчёт эмбрионов и абортивных яиц.

*Этап 4. Статистическая обработка данных.* Обработка полученных данных производится с использованием специали-

зированного статистического программного обеспечения (GraphPad Prism, R, Statistica или аналогов).

Применимые статистические методы представлены в таблице 4.

*Этап 5. Расчёт токсикологических показателей.* Для каждого исследуемого показателя рассчитываются:

– NOEC — максимальная концентрация, не вызывающая статистически значимого отличия от контроля;

– LOEC — минимальная концентрация, вызывающая статистически значимый эффект;

– EC<sub>50</sub> — концентрация, вызывающая 50 % изменение показателя относительно контроля.

Для частоты сердечных сокращений дополнительно рассчитываются EC<sub>10</sub> и EC<sub>20</sub> как более ранние индикаторы токсического эффекта [20].

**6. Критерии приемлемости теста (валидность).** Валидность теста — это степень достоверности полученных результатов, обеспечивающая возможность их корректной интерпретации и сравнения с данными других исследований. Понятие валидности включает в себя не только статистическую значимость различий между контролем и опытом, но и биологическую состоятельность используемой тест-системы, а также воспроизводимость результатов в повторных экспериментах. В мировой практике токсикологических исследований соблюдение критериев валидности является обязательным условием для признания результатов лабораторных испытаний и их использования в целях экологического нормирования и регулирования [23].

Для признания хронического теста на *Daphnia magna* валидным необходимо одновременное выполнение ряда критериев, характеризующих состояние контрольной группы и стабильность условий эксперимента [16, 18, 20].

Сводные критерии, необходимые для признания хронического теста валидным, представлены в таблице 5.

**7. Ожидаемые результаты и их интерпретация.** В хроническом исследовании на *Daphnia magna* регистрируемые изменения показателей отражают различные уровни токсического воздействия ТМ (Cu, Zn, Cd, Pb и др.). Интерпретация по-

лученных результатов должна учитывать как направленность изменений (увеличение/уменьшение), так и их величину, а также взаимосвязи между различными тест-функциями [3]. Ожидаемые результаты представлены в таблицах 6А–6Г.

Таблица 4

Применимые статистические методы

Метод	Назначение
Дисперсионный анализ	Сравнение средних значений между контрольной и опытными группами
Тест Даннета (Dunnett's test)	Множественное сравнение с контролем для определения NOEC/LOEC
Пробит-анализ или нелинейная регрессия	Расчёт EC <sub>50</sub> для исследованных показателей
Корреляционный анализ (Пирсона/Спирмена)	Выявление связей между концентрацией металлов и биологическими эффектами
t-критерий Стьюдента	Попарное сравнение показателей в динамике (дни 7, 14, 21)
Уровень статистической значимости принимается $p < 0,05$ .	

Таблица 5

Условия признания теста валидным

Критерий	Норматив
Смертность родительских особей	Не более 20 % к концу теста
Среднее количество живого потомства на одну выжившую самку	Не менее 60 особей за 21 день
День первого приплода	7–12 сутки жизни особей
Появление абортивных яиц	Менее 20 % от суммарного количества молоди
Частота сердечных сокращений в контроле	540–580 уд/мин при 20–22 °С
Подтверждение генотипа	Использованная тест-популяция принадлежит к отобранному чувствительному генотипу
Диапазон температур	20 ± 1 °С на протяжении всего эксперимента
pH среды	6,5–8,5
Растворенный кислород	>3 мг/дм <sup>3</sup> в конце интервала между сменами среды

Таблица 6А

Прогнозируемые изменения выживаемости и репродуктивных показателей при хроническом токсическом воздействии

Показатель	Характер изменений при токсическом воздействии	Биологическая интерпретация
Выживаемость	Снижение (при высоких концентрациях)	Летальный эффект, необратимое нарушение жизненно важных функций
Общая плодовитость	Уменьшение количества потомства на самку	Репродуктивная токсичность, нарушение оогенеза или эмбриогенеза
День первого помета	Увеличение (задержка)	Замедление полового созревания, нарушение гормональной регуляции
Количество пометов за 21 день	Снижение частоты	Удлинение интервалов между линьками и репродуктивными циклами

Продолжение таблицы 6А

Показатель	Характер изменений при токсическом воздействии	Биологическая интерпретация
Размер молодежи в первом помете	Уменьшение	Нарушение питания эмбрионов, токсическое влияние на ранние стадии
Количество эмбрионов в выводковой камере	Уменьшение	Снижение репродуктивного потенциала на ранних этапах
Количество абортивных (неразвившихся) яиц	Увеличение	Прямое доказательство эмбриотоксического эффекта
Доля абортивных яиц	>20 % от общего числа	Критическое ухудшение состояния популяции

Таблица 6Б

Прогнозируемые изменения поведенческих и витальных параметров при хроническом токсическом воздействии

Показатель	Норма	Отклонение	Биологическая интерпретация
Окраска покровов	Желто-коричневая	Красная/розовая	Хроническая гипоксия, повреждение жаберного эпителия
		Бледная, стекловидная	Анемия, истощение
Наполнение кишечника	Темно-зеленый, хорошо наполнен	Пустой или слабо наполненный	Снижение пищевой активности, интоксикация
Характер движений	Равномерные, медленные	Резкие спонтанные движения	Нейротоксическое действие
		Вращательные у поверхности	Нарушение координации, поражение нервной системы
		Движение «на боку»	Тяжелая интоксикация
Распределение в толще воды	Равномерное	Скопление у поверхности	Дефицит кислорода
		Полегание на дно	Угнетение, тяжелая интоксикация

Таблица 6В

Прогнозируемые изменения морфометрических параметров при хроническом токсическом воздействии

Показатель	Характер изменений при токсическом воздействии	Биологическая интерпретация
Длина тела	Замедление линейного роста (уменьшение конечных размеров)	Ингибирование анаболических процессов, нарушение белкового и кальциевого обмена
Длина хвостовой иглы	Изменение (видозависимо)	Нарушение морфогенеза как маркер генотипической изменчивости
Высота головного шлема	Уменьшение	Общее угнетение ростовых процессов, нарушение формообразования

Таблица 6Г

Прогнозируемые изменения сердечной активности при хроническом токсическом воздействии

Показатель	Характер изменений при токсическом воздействии	Биологическая интерпретация
Частота сердечных сокращений (ЧСС)	Брадикардия (урежение)	Нарушение проводимости, кардиодепрессивный эффект
	Тахикардия (учащение)	Компенсаторная реакция на гипоксию, стресс
Вариабельность сердечного ритма	Увеличение (аритмия)	Нарушение нейрогуморальной регуляции
Регулярность ритма	Появление аритмий	Кардиотоксический эффект

## Выводы:

1. Предложена детализированная методика 21-дневного хронического биотестирования на *Daphnia magna*, интегрирующая классические подходы (ОЕСД 211, ФР 1.39.2007.03222) с современными методами функциональной диагностики (видеорегистрация сердечной активности, морфометрический анализ, подсчет аборттивных яиц).

2. Обоснована необходимость предварительного генотипического отбора чувствительных линий из природных популяций малых рек восточного Донбасса. Предложен алгоритм селекции (получение материала → экспозиция → изоляция → консолидация).

3. Определены оптимальные концентрации для селекции по основным тяжелым металлам (Cd, Cu, Zn, Pb, Ni) с учетом их токсичности и влияния жесткости воды. Для кадмия рекомендована концентрация 0,0003–0,0008 мг/дм<sup>3</sup>, для меди — 0,008–0,015 мг/дм<sup>3</sup>, для цинка — 0,05–0,08 мг/дм<sup>3</sup>.

4. Установлено, что комплексное использование морфометрических (длина тела, длина хвостовой иглы), репродуктивных (плодовитость, аборттивные яйца), поведенческих (характер движений, наполнение кишечника) и кардиоваскулярных (ЧСС, вариабельность ритма) показателей позволяет регистрировать сублетальные эффекты на разных уровнях организации — от физиологического до популяционного.

5. Показано, что частота сердечных сокращений является наиболее чувствительным маркером, позволяющим выявлять токсический эффект при концентрациях, на несколько порядков более низких, чем вызывающие летальный исход. Для кадмия порог регистрации эффекта по ЧСС составляет 0,1 ppb (0,0001 мг/дм<sup>3</sup>).

6. Предложен протокол обработки видеоматериалов в программе ImageJ, включающий калибровку изображений, морфометрические измерения и анализ ЧСС с

помощью плагина Time Series Analyzer. Данный протокол обеспечивает количественную оценку параметров и воспроизводимость результатов.

7. Сформулированы критерии валидности теста, объединяющие требования международных стандартов (ОЕСД, ИСО), российской нормативной документации и дополнительные показатели (состояние культуры, ЧСС), что повышает достоверность получаемых результатов.

8. Разработанная методика может быть рекомендована для использования в системе экологического мониторинга малых рек восточного Донбасса, а также для других регионов со сходными проблемами загрязнения ТМ.

**В дальнейших исследованиях** предполагается апробация разработанной методики на пробах воды из малых рек восточного Донбасса. В случае подтверждения ее эффективности в сравнении с результатами стандартных тестов дальнейшие исследования могут быть направлены на решение следующих задач.

1. Исследование синергетических и антагонистических эффектов при совместном действии нескольких тяжелых металлов, характерных для шахтных вод региона.

2. Разработка автоматизированных алгоритмов анализа ЧСС и морфометрических параметров в ImageJ с использованием макросов для повышения производительности и снижения субъективности измерений.

3. Изучение корреляции между кардиоваскулярными показателями и биоаккумуляцией тяжелых металлов в теле дафний для выявления механизмов токсического действия.

4. Оценка возможности использования разработанной методики для тестирования других типов загрязнителей (пестицидов, нефтепродуктов, фармацевтических препаратов).

5. Создание регионального банка селекционированных чувствительных генотипов *Daphnia magna* для стандартизации биотестирования в восточном Донбассе.

6. Разработка шкал градации токсичности на основе интегральной оценки всех исследуемых параметров (ЧСС, плодовитость, морфометрия) для перехода от констатации эффекта к количественной классификации степени загрязнения.

### Список источников

1. Павлов В. И., Кулакова С. И., Климов Ю. С. Задачи обеспечения одинаковой и высокой физиологической чувствительности тест-организмов *Daphnia magna* Straus для биотестирования воды малых рек восточного Донбасса. // Экологический вестник Донбасса. 2025. № 2 (15). С. 3–7. EDN UKGQJ
2. Александрова В. В. Биотестирование как современный метод оценки токсичности природных и сточных вод. Нижневартовск : Нижневартовский государственный университет, 2013. 119 с. EDN ENAWHL
3. Олькова А. С. Разработка стратегии биотестирования водных сред с учетом многофакторности ответных реакций тест-организмов : дис. ... д-ра биол. наук. Киров, 2020. 359 с. EDN IRBGXV
4. Генотипическая структура природной популяции дафнии по фенотипической реакции особей на изменение количества корма / Е. Л. Ермаков, С. И. Питулько, В. М. Корзун, Г. В. Гречаный // Генетика. 2010. Т. 46. № 2. С. 239–248. EDN LOIXWL
5. Ермаков Е. Л., Питулько С. И. Анализ генетических корреляций по фенотипической реакции особей по комплексу количественных признаков на изменение количества корма в природной популяции дафнии // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3-3. С. 1110–1114. EDN RXEAFZ
6. Loria A., Cristescu M. E., Gonzalez A. Genotype diversity promotes the persistence of *Daphnia* populations exposed to severe copper stress // *Journal of Evolutionary Biology*. 2022. Vol. 35. № 2. P. 265–277. DOI: 10.1111/jeb.13979 EDN UWBVII
7. Plaistow S. J., Brunner F. S., O'Connor M. Quantifying population and clone-specific non-linear reaction norms to food gradients in *Daphnia magna* // *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2022. Vol. 10. DOI: 10.3389/fevo.2022.982697 EDN UEZJLT
8. Воробьева О. В., Самойлова Т. А., Гершкович Д. М. Пути исследования морфофизиологических параметров лабораторных культур ветвистоусых ракообразных, применяемых для биотестирования // Актуальные проблемы изучения ракообразных : сборник тезисов и материалов докладов науч.-практ. конф., посвященной 90-летию со дня рождения Н. Н. Смирнова, Борок, 17–20 мая 2018 года. Борок : Филигрань, 2018. С. 57–59. EDN XWJVZR
9. Шилова Н. А., Рогачева С. М., Губина Т. И. Влияние биогенных металлов на жизнедеятельность *Daphnia magna* // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1-8. С. 1951–1953. EDN NDYGF
10. Biesinger K. E., Christensen G. M. Effects of various metals on survival, growth, reproduction, and metabolism of *Daphnia magna* // *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 1972. Vol. 2. № 12. P. 1691–1700.
11. Ebert D. *Daphnia* as a versatile model system in ecology and evolution // *EvoDevo*. 2022. Vol. 13. Art. 16. DOI: 10.1186/s13227-022-00199-0 EDN EGYEPI
12. Barata C., Baird D. J. Determining the ecotoxicological mode of action of chemicals from measurements made on individuals: results from instar-based tests with *Daphnia magna* Straus // *Aquatic Toxicology*. 2000. Vol. 48. № 2-3. P. 195–209. EDN AEOXIZ
13. Моисеенко Т. И. Биодоступность и экотоксичность металлов в водных системах: критические уровни загрязнения // *Геохимия*. 2019. Т. 64. № 7. С. 675–688. DOI: 10.31857/S0016-7525647675-688 EDN GBYYBL
14. Lari E., D. Steinkey D., Pyle G. G. A novel apparatus for evaluating contaminant effects on feeding activity and heart rate in *Daphnia* spp. // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017. Vol. 135. P. 381–386. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2016.10.018 EDN: XUOBND
15. Hill W. G., Mackay T. F. C. D. S. Falconer and Introduction to quantitative genetics // *Genetics*. 2004. Vol. 167. № 4. P. 1529–1536.

16. Олькова А. С. Контроль здоровья тест-культуры *Daphnia magna* Straus // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 3 (79). С. 59–69. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.3.59-69 EDN OCUGGD

17. Олькова А. С. Условия культивирования и многообразие тест-функций *Daphnia magna* Straus при биотестировании // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 1. С. 63–82. DOI: 10.23968/2305-3488.2017.19.1.63-82 EDN ZRKPXT

18. ФР 1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. М. : Акварос, 2007. 51 с.

19. Bownik A., Pawlocik M., Sokolowska N. Effects of neonicotinoid insecticide acetamiprid on swimming velocity, heart rate and thoracic limb movement of *Daphnia magna* // Polish Journal of Natural Sciences. 2017. Vol. 32. № 3. P. 481–493. EDN YFMEDJ

20. Cardiovascular performance measurement in water fleas by utilizing high-speed videography and ImageJ software and its application for pesticide toxicity assessment / F. Santoso [et al.] // Animals. 2020. Vol. 10. № 9. Art. 1587. DOI: 10.3390/ani10091587 EDN LRVNGQ

21. Абдрахимова Й. Р., Абдрахимов Ф. А. Биомиджинг клеток: введение в анализ изображений с помощью ImageJ : учебно-методическое пособие. Казань : Альянс, 2019. Ч. 1. 25 с.

22. The “MYOCYTER” — Convert cellular and cardiac contractions into numbers with ImageJ / T. Grune [et al.] // Scientific Reports. 2019. Vol. 9. No. 1. Art. 15112. DOI: 10.1038/s41598-019-51676-x

23. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. М. : Стандартинформ, 2019. 26 с.

© Климов Ю. С., Павлов В. И., Кулакова С. И., 2026

**Рекомендована к печати к.б.н., доц. каф. ЭиБЖД ДонГТУ Швыдченко С. С.,  
начальником службы экологической безопасности и производственной санитарии  
управления охраны труда и промышленной безопасности ООО «ЮГМК» Краснонос Н. Н.**

Статья поступила в редакцию 15.03.2026.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Климов Юрий Сергеевич**, магистрант II курса каф. экологии и безопасности жизнедеятельности  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия, e-mail: klimov.bio@gmail.com

**Павлов Валерий Иванович**, канд. техн. наук, доцент каф. экологии и безопасности жизнедеятельности  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия

**Кулакова Светлана Ивановна**, канд. техн. наук, доцент каф. высшей математики и естественных наук  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия

\*Klimov Yu. S., Pavlov V. I., Kulakova S. I. (Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, \*e-mail: klimov.bio@gmail.com)

#### METHOD FOR CONDUCTING CHRONIC BIOTESTING OF NATURAL WATERS IN DONBASS

Method for conducting 21-day chronic biotesting using *Daphnia magna* Straus for the integrated assessment of toxicity of natural waters of Donbass contaminated with heavy metals is presented. Method takes into account the problems of genetic heterogeneity of populations, offering an approach

to the selection of sensitive genotypes. The test conditions, the procedure for creating a sensitive test-line, the studied parameters (body length, tail spine length, fecundity, abortive eggs, movement pattern, gut fullness, heart rate, rhythm variability), the protocol for data analysis in ImageJ, key toxicological indicators (NOEC, LOEC,  $EC_{50/20/10}$ ), and statistical processing are described. The developed method allows to record the sublethal effects at concentrations of toxicants that are several orders of magnitude lower than the lethal concentrations, which enhances the diagnostic value of biotesting. The test validity criteria and expected results are given.

**Key words:** *Daphnia magna*, chronic research, biotesting, heavy metals, selection of sensitive genotypes, sublethal effects, heart rate, cardiotoxicity, morphometric analysis, abortive eggs, embryotoxicity.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Klimov Yury Sergeevich**, Second-year Candidate for a Master's Degree of the Department of Ecology and Life Safety  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia, e-mail: klimov.bio@gmail.com

**Pavlov Valery Ivanovich**, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Ecology and Life Safety  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia

**Kulakova Svetlana Ivanovna**, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Higher Mathematics and Natural Sciences  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Гомаль И. И., Гулейчук Н. И.</i> ВЛИЯНИЕ ШАХТНЫХ ВОД НА ГИДРОГРАФИЧЕСКУЮ СФЕРУ ПРИ МАССОВОЙ АВАРИЙНОЙ ЛИКВИДАЦИИ ШАХТ В ДНР .....	3
<i>Долгих В. П., Кусайко Н. П., Майборода А. Н., Черников А. О.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА LOWRANCE ELITE FS 9 ДЛЯ МОНИТОРИНГА МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСАКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В УСЛОВИЯХ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАСУХИ .....	14
<i>Капранов С. В.</i> НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ .....	22
<i>Левченко Э. П., Зинченко А. М., Левченко О. А., Павленко А. Т.</i> ИННОВАЦИОННЫЕ ЭКОТЕХНОЛОГИИ ЗЕРНОПЕРЕРАБОТКИ .....	35
<i>Левченко Э. П., Павленко А. Т., Левченко О. А., Кучеренко Л. Э.</i> ФЕНОМЕН ОСЕННЕЙ ИНВЕРСИИ МИГРАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ СКВОРЦОВ (STURNUS VULGARIS) НА ТЕРРИТОРИИ ДОНБАССА: ПРЕДПОСЫЛКИ И ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ .....	44
<i>Климов Ю. С., Павлов В. И., Кулакова С. И.</i> МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ХРОНИЧЕСКОГО БИОТЕСТИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД ДОНБАССА .....	55

## CONTENT

<i>Gomal I. I., Guleichuk N. I.</i> IMPACT OF MINE WATERS ON THE HYDROGRAPHIC SPHERE DURING MASS EMERGENCY LIQUIDATION OF MINES IN THE DPR .....	3
<i>Dolgikh V. P., Kusayko N. P., Maiboroda A. N., Chernikov A. O.</i> THE LOWRANCE ELITE FS 9 HYDROACOUSTIC COMPLEX IS BEING USED TO MONITOR THE MORPHOMETRICAL CHARACTERISTICS OF THE ISAKOVO RESERVOIR UNDER HYDRAULIC DROUGHT CONDITIONS .....	14
<i>Kapranov S. V.</i> SCIENTIFIC AND PRACTICAL BASIS FOR MONITORING THE HEALTH OF THE POPULATION OF THE RUSSIAN FEDERATION .....	22
<i>Levchenko E. P., Zinchenko A. M., Levchenko O. A., Pavlenko A. T.</i> INNOVATIVE ECOTECHNOLOGIES FOR GRAIN PROCESSING .....	35
<i>Levchenko E. P., Pavlenko A. T., Levchenko O. A., Kucherenko L. E.</i> THE PHENOMENON OF AUTUMN INVERSION OF MIGRATION BEHAVIOR OF THE STARLINGS ( <i>STURNUS VULGARIS</i> ) IN THE DONBASS TERRITORY: PREREQUISITES AND POSSIBLE MECHANISMS .....	44
<i>Klimov Yu. S., Pavlov V. I., Kulakova S. I.</i> METHOD FOR CONDUCTING CHRONIC BIOTESTING OF NATURAL WATERS IN DONBASS .....	55

**UDC 504.4:598.294+614.2+631.363**  
**EDN: CHXBAA**

**Ecological Bulletin of Donbass**

**Scientific Journal**

Issue 1 (17) 2026

**Establishers:**  
**Federal State Budget Educational**  
**Institution of Higher Education "Donbass**  
**State Technical University" supported by**  
**Ministry of Natural Resources**  
**and Environmental Safety of LPR**

*Registration Certificate for mass media*  
*PI No. FS77-86349 dated 30.11.2023*  
*issued by the Federal Service for Supervision*  
*of Communications, Information Technology*  
*and Mass Media*

*Added to scientometrical database of RISC*

*Recommended by academic council*  
*of FSEI HE "DonSTU"*  
*(Record № 15 dated 01.06.2026)*

Date of issue: 08.06.2026  
Format 60×84¼  
Conventional printed sheet 9,13  
Order № 122  
Circulation 100 copies  
Printed by PPC of DonSTU  
The journal is distributed free of charge

Computer layout  
*Ismailova L. M.*

Cover art design  
*Chernyshova N. V.*

Address of establisher, editorial board, publisher and  
printing office:  
FSEI HE "DonSTU"  
294204, Lugansk People's Republic,  
urban district Alchevsk, Alchevsk, Lenin avenue, 16  
E-mail: [info@dontu.ru](mailto:info@dontu.ru)  
Web-site: <https://dontu.ru>

**Editor-in-chief**

Smekalin E. S. — PhD in Engineering, Ass. Prof.

**Deputy Editor-in-chief**

Protsenko M. Yu. — PhD in Engineering, Ass. Prof.

**Editorial board:**

Krekhtunov E. V. — Minister of Natural Resources  
and Ecology of the LPR

Ladysh I. A. — Doctor of Agricultural Sciences, Prof.

Zubov A. R. — Doctor of Agricultural Sciences, Prof.

Kapranov S. V. — Doctor of Medicine

Zinchenko A. M. — PhD in Economics, Ass. Prof.

Kusayko N. P. — Head of SMCE

Podlipenskaya L. Ye. — PhD in Engineering, Ass. Prof.

Levchenko E. P. — PhD in Engineering, Ass. Prof.

Pavlov V. I. — PhD in Engineering, Ass. Prof.

Fyodorova V. S. — PhD in Pharmacy, Ass. Prof.

Gavrik S. Yu. — PhD in Medical Sciences, Ass. Prof.

For research scientists, PhD seekers, students of  
higher educational institutions, scientific institutions,  
environmental specialists and ecologists,  
governmental institutions.

Issue languages:  
Russian, English

16+