

Мониторинг подземных и поверхностных вод в районе предприятий по утилизации опасных промышленных отходов

© 2024. Т. Я. Ашихмина^{1,2}, д. т. н., г. н. с., зав. лабораторией,
 Е. В. Дабах², к. б. н., с. н. с., Г. Я. Кантор^{1,2}, к. т. н., с. н. с.,
 А. С. Тимонов^{1,2}, н. с., Е. А. Домнина^{1,2}, к. б. н., с. н. с.,
 Т. И. Кутявина¹, к. б. н., с. н. с.,

¹Вятский государственный университет,
 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

²Институт биологии Коми научного центра
 Уральского отделения Российской академии наук,
 167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
 e-mail: ecolab2@gmail.com

На территории создаваемого в Кировской области Экотехнопарка «Мирный» – производственно-технического комплекса по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов I и II классов опасности в рамках программы комплексного экологического мониторинга планируется проведение экологического мониторинга по всем природным средам и объектам. В данной работе представлены некоторые принципы и подходы к организации мониторинга подземных и поверхностных вод, донных отложений. Показано, что при организации мониторинга создаваемого объекта следует учитывать особенности системы мониторинга ранее существовавших на данной территории объектов и результаты многолетних наблюдений за состоянием природных вод в этом районе. В частности, при организации сети мониторинга рекомендуется использовать наблюдательные скважины, пробуренные для контроля объектов хранения и уничтожения химического оружия. При выборе показателей мониторинга необходимо учитывать повышенные концентрации загрязняющих веществ и показатели, свидетельствующие об ухудшении качества воды, выявленные при мониторинге существовавших объектов. Для формирования перечня приоритетности наблюдаемых параметров природных вод и водных объектов предложен логарифмический индекс токсичности загрязняющих веществ, основанный на классах токсичности и величинах предельно допустимых концентраций. Рекомендовано для оценки состояния природных вод и донных отложений использовать методы биоиндикации и биотестирования.

Ключевые слова: мониторинг поверхностных и подземных вод, утилизация и обезвреживание промышленных отходов, приоритетные загрязняющие вещества, сеть мониторинга, программа мониторинга.

Monitoring of ground and surface water in the area of hazardous industrial waste disposal enterprises

© 2024. T. Ya. Ashikhmina^{1,2}, ORCID: 0000-0003-4919-0047[†]

E. V. Dabakh², ORCID: 0000-0002-6088-4819[†], G. Ya. Kantor^{1,2}, ORCID: 0000-0002-6462-6702[†]

A. S. Timonov^{1,2}, ORCID: 0000-0001-8560-3051[†], E. A. Domnina^{1,2}, ORCID: 0000-0002-5063-8606[†]

T. I. Kutyavina¹, ORCID: 0000-0001-7957-0636[†]

¹Vyatka State University,

36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

²Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch
 of the Russian Academy of Sciences,

28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
 e-mail: ecolab2@gmail.com

On the territory of the Mirny Ecotechnopark, a production and technical complex for processing, recycling and rendering harmless waste of I and II hazard classes, it is planned to conduct environmental monitoring of all natural environments and objects within the framework of the integrated environmental monitoring program. This paper presents some principles and approaches to organizing the monitoring of groundwater and surface water, bottom sediments. It is shown that when organizing the monitoring of the created object, it is necessary to take into account the features of the monitoring system of previously existing objects in this territory and the results of long-term observations of the

state of natural waters in this area. In particular, when organizing the monitoring network, it is recommended to use observation wells drilled to monitor chemical weapons storage and destruction facilities. When selecting monitoring indicators, it is necessary to take into account elevated concentrations of pollutants and indicators indicating deterioration in water quality identified during monitoring of existing objects. It is recommended to include 38 indicators in the list of environmental monitoring of the facility being created for groundwater, and 40 for surface water. To form a priority list of observed parameters of natural waters and water bodies, a logarithmic index of pollutant toxicity based on toxicity classes and maximum permissible concentration values is proposed. It is recommended to use bioindication and biotesting methods to assess the state of natural waters and bottom sediments, in particular, to conduct an analysis of the taxonomic composition of bottom invertebrates and quantitative indicators of benthic communities, as well as a qualitative assessment of the state of water bodies using bioindication indices.

Keywords: monitoring of surface and ground water, recycling and neutralization of industrial waste, priority pollutants, monitoring network, monitoring program.

Мониторинг подземных и поверхностных вод – один из эффективных методов контроля и прогнозирования состояния водных объектов, водоносных горизонтов в районах деятельности промышленных, горнорудных предприятий, предприятий сельскохозяйственного профиля, в местах размещения полигонов хранения бытовых и промышленных отходов. Актуальность мониторинга подземных и поверхностных вод обусловлена прогрессирующим загрязнением почв, поверхностных и подземных вод, увеличением нагрузки на окружающую среду (ОС).

Мониторинг подземных и поверхностных вод представляет собой комплексную систему наблюдений за изменением качественных и количественных показателей текущего состояния вод, сбора и обработки полученных данных для оценки изменения состояния водоёмов, подземных вод под воздействием антропогенных и естественных факторов.

Основные принципы организации системы мониторинга водных объектов представлены в работе [1]. Современные системы экологического мониторинга используют разнообразные методы химического анализа состава природных вод [2, 3], а также методы биоиндикации и биотестирования [4–6].

В четырёх регионах Российской Федерации (Курганская, Саратовская, Кировская области и Республика Удмуртия), где ранее размещались объекты хранения химического оружия, с 2002 по 2016 гг. были созданы производственные комплексы – объекты по уничтожению химического оружия (ОУХО), в настоящее время проводятся работы по их перепрофилированию в предприятия по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов I и II классов опасности [7]. На ОУХО была создана и активно действовала сеть государственного, производственного (объектового) и комплексного экологического мониторинга. Эти три системы экологического мониторинга не повторяли, а дополняли друг

друга данными о состоянии окружающей природной среды для получения объективных оценок о происходящих в ней изменениях. В частности, такая комплексная система экологического мониторинга действовала на ОУХО «Марадыковский» в пгт Мирный Оричевского района Кировской области и в зоне защитных мероприятий (ЗЗМ) вокруг объекта. На территории промплощадки, санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и ЗЗМ была спроектирована сеть экологического мониторинга, включающая наблюдательные скважины, водные посты, участки мониторинга лесных и луговых биоценозов, мониторинга почв, стационарные и мобильные посты контроля атмосферного воздуха.

Характеристика поверхностных водных объектов, данные о водоносных горизонтах и источниках их питания на территории планируемого размещения Экотехнопарка «Мирный», о составе поверхностных и подземных вод представлены в литературе [8–11].

Актуальность работы обусловлена тем, что в системе мониторинга ОС при перепрофилировании объекта должны учитываться как негативные последствия деятельности существовавшего ранее предприятия, так и новые источники и пути распространения загрязнения. Во многих странах Европы с высокой плотностью населения и развитой промышленностью в качестве фоновых принимаются показатели состояния ОС до начала ввода в эксплуатацию промышленных объектов [12].

Целью данной работы является разработка научных подходов к организации системы экологического мониторинга природных вод в рамках комплексного экологического мониторинга в районе создаваемых предприятий по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов I и II классов опасности для охраны вод от загрязнения и истощения, предотвращения негативных последствий влияния подземных и поверхностных вод на окружающую среду.

Объекты и методы исследования

Исследуемая территория расположена в бассейне р. Вятки, русло которой проходит в 1 км к северу от производственно-технического комплекса (ПТК).

Объектом исследования являются подземные воды, пробы которых отбираются из наблюдательных скважин, расположенных в СЗЗ: 12н, 13н, 14н, 15н, 16н, 17н, а также из 5-х наблюдательных скважин, оборудованных на площадке ПТК (1н, 2н, 3н, 4н, 5н) (рис. 1, см. цв. вкладку III). При этом скважины 1н и 2н рассматриваются как фоновые для полигона и промплощадки соответственно.

К объектам исследования поверхностных вод следует отнести воду, донные отложения, гидробионтов, пробы которых отобраны в 3 искусственных водоёмах (пруды-копани), а также на р. Погиблице и р. Вятке в 500 м выше и ниже по течению устья впадающих водотоков.

Пробы воды отбирали согласно ГОСТ 59539-2021 (подземные воды) и ГОСТ Р 59024-2020 (поверхностные воды).

Анализ состояния поверхностных и подземных вод проводили по данным, полученным в ходе инженерно-экологических изысканий (ИЭИ) и по результатам исследований, выполненных в рамках оценки воздействия на ОС (ОВОС) – части проектной документации по созданию ПТК «Мирный» по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов I и II классов опасности [13, 14].

Результаты и обсуждение

Мониторинг подземных вод. Воздействие объекта на геологическую среду может проявляться в загрязнении подземных вод при проливах в местах разгрузки, транспортировки, хранения и обезвреживания отходов. Загрязняющие вещества (ЗВ), поступающие в составе выбросов на поверхность почвы, фильтруются через её толщу и могут опосредованно воздействовать на подземные воды. Грунтовые воды в пойме залегают близко к поверхности, и поступление ЗВ в составе выбросов может привести к изменению таких динамических показателей как pH, содержание сульфатов, нитратов и других веществ.

Поступление ЗВ в эксплуатируемый водоносный горизонт маловероятно, он защищён от загрязнения.

Состав и свойства подземных вод зависят от геологического строения территории. На

рассматриваемой территории в геологическом строении осадочной толщи принимают участие четвертичные и верхнепермские отложения, к которым приурочены одноимённые водоносные комплексы. Практический интерес из них представляют четвертичный и юрпаловский.

Юрпаловский водоносный комплекс является основным источником питьевого водоснабжения. Кровля эксплуатируемого водоносного комплекса в районе ПТК залегает на глубине 35 м, воды носят напорный характер. Эксплуатируемый водоносный горизонт относится к защищённым, подземные воды характеризуются как пресные, слабо щелочные, в них часто отмечаются повышенные концентрации бора и фтора, превышение норматива по pH.

Питание четвертичного водоносного (aQ_{II-IV}) горизонта осуществляется за счёт инфильтрации атмосферных осадков, разгрузка происходит в ближайшую овражно-балочную и речную сеть, в искусственные водоёмы, но, возможно, и в подстилающие породы. Водообильность горизонта зависит от количества выпавших осадков. В верхней части потока расположена площадка ОУХО, промплощадка проектируемого ПТК «Мирный» (рис. 1).

Согласно ГОСТ Р 56060-2014, мониторинг за загрязнением грунтовых вод осуществляют путём отбора проб из контрольных колодцев, скважин или шурфов, заложенных по периметру объекта. Состав проб вод из контрольных шурфов, колодцев и скважин, заложенных выше объекта по течению грунтовых вод, характеризует их исходное состояние. Ниже объекта по течению грунтовых вод (на расстоянии 50–100 м, если нет опасности загрязнения грунтовых вод за счёт других источников) закладывают 1–2 колодца (шурфа, скважины) для отбора проб воды с целью выявления влияния на них стоков полигона. При более глубоком залегании грунтовых вод их контроль осуществляют с помощью наблюдательных скважин.

Сеть наблюдательных скважин на четвертичный водоносный горизонт (aQ_{II-IV}) была сформирована под существовавшие в прошлом на данной территории объекты – ОУХО и полигон захоронения отходов, она достаточна для контроля промплощадки, а также позволяет оценить распространение возможного ореола загрязнения подземных вод по направлению потока. Исходя из состояния скважин, рекомендуется включить в сеть мониторинга ПТК 11 наблюдательных скважин, 5 из которых расположены по периметру объекта, 6 – по направлению движения потока (рис. 1).

**Т. Я. Ашихмина, Е. В. Дабах, Г. Я. Кантор,
А. С. Тимонов, Е. А. Домнина, Т. И. Кутявина**
**«Мониторинг подземных и поверхностных вод в районе предприятий
по утилизации опасных промышленных отходов». С. 105.**

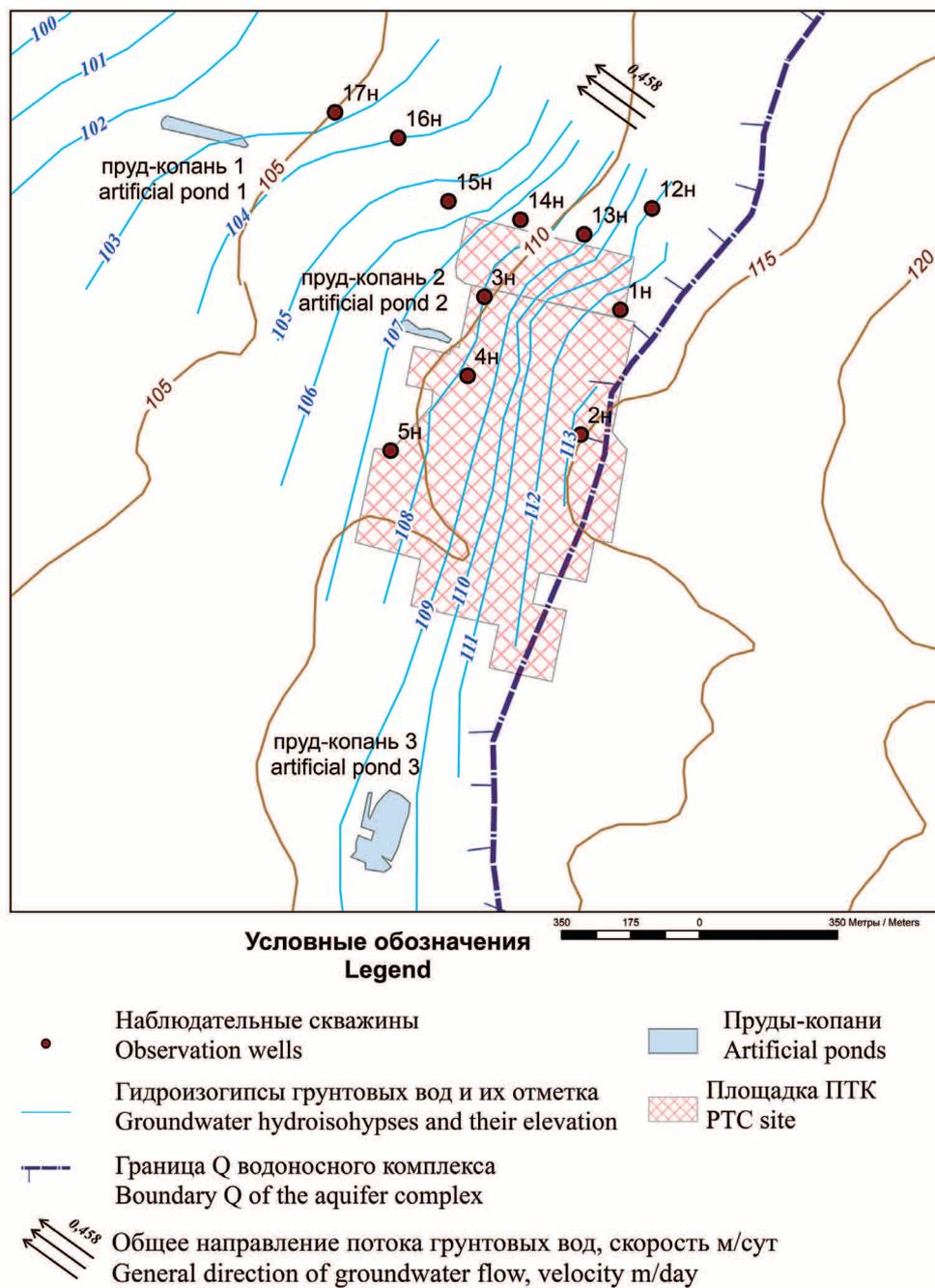


Рис. 1. Схема размещения скважин и водоёмов на исследуемой территории
Fig. 1. Layout of wells and reservoirs in the study area

**Т. Я. Ашихмина, Е. В. Дабах, Г. Я. Кантор,
А. С. Тимонов, Е. А. Домнина, Т. И. Кутявина**
**«Мониторинг подземных и поверхностных вод в районе предприятий
по утилизации опасных промышленных отходов». С. 105.**

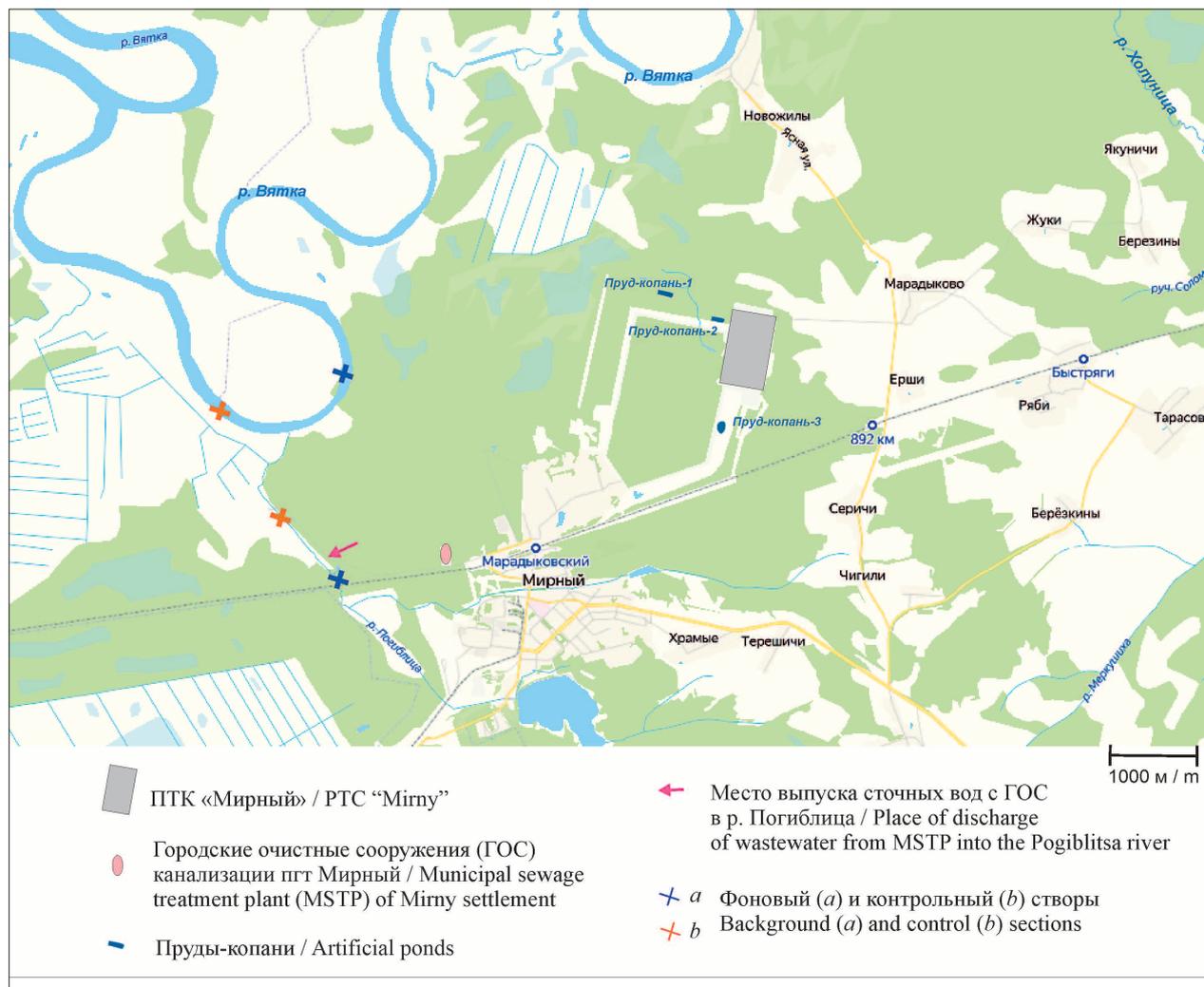


Рис. 3. Сеть наблюдения за состоянием поверхностных вод в окрестностях ПТК «Мирный»
Fig. 3. Surface water monitoring network in the vicinity of the PTC “Mirny”

По результатам обследования, проведённого в рамках ИЭИ [13], грунтовые воды в фоновой (контрольной) скважине 12н (рис. 1) характеризуются как пресные, нейтральные, с повышенным содержанием железа общего, низкими концентрациями сульфатов, хлоридов и фосфатов. Состав подземных вод в остальных наблюдательных скважинах принципиально не меняется, при этом отмечаются существенные колебания содержания железа общего – от 0,8 до 48 мг/дм³. Пространственной закономерности в распределении содержания железа общего не отмечается. В подземных водах также отмечается высокое содержание марганца. Выявлены существенные изменения водородного показателя: рН варьирует от слабокислых (5,3) до слабощелочных (8,9) значений. Основные колебания рН отмечаются в наблюдательных скважинах промзоны, что может косвенно указывать на влияние деятельности бывшего ОУХО на грунтовые воды. Кроме того, в них отмечено повышенное содержание фенолов. В пробе подземной воды, отобранной из скважины, расположенной вблизи промплощадки к северо-западу от неё, выявлены повышенные концентрации фторид-ионов.

Перечень контролируемых показателей составляется с учётом ЗВ, поступающих от источников загрязнения. В данном случае это могут быть загрязнённые сточные воды, воды атмосферных осадков, загрязнённые почвы и фильтрующие воду грунты. Согласно [15], участки загрязнения подземных вод выделяются по общим и специальным показателям качества воды. К общим показателям относятся: минерализация (М), общая жёсткость (Ж), окисляемость перманганатная (О), температура (t), величина рН, содержание хлоридов (Cl⁻), сульфатов (SO₄²⁻), нитратов (NO₃⁻), фтора (F⁻), железа (Fe), марганца (Mn²⁺), меди (Cu²⁺), цинка (Zn²⁺), свинца (Pb²⁺), нефтепродуктов (НП). Специальные показатели включают набор определений, выполняемых при полном химическом анализе; содержание хлорорганических пестицидов, бенз[а]пирена, СПАВ, фенола, специфических веществ, характерных для конкретных объектов. В ГОСТ Р 56060-2014 указано, что в отобранных пробах грунтовых вод обычно определяют содержание аммиака, нитритов, нитратов, гидрокарбонатов, хлоридов, сульфатов, цианидов, кальция, железа, лития, магния, кадмия, хрома, свинца, ртути, мышьяка, меди, бария, органического углерода, сухого остатка, ХПК, БПК, рН и другие показатели

в соответствии с составом отходов. Программы мониторинга разрабатывают с учётом свойств размещаемых отходов. На территории ПТК хранение отходов запланировано на забетонированных площадках. Однако, при нарушении изоляции, а также в случае аварий возможно загрязнение грунтов и грунтовых вод.

Список общих показателей мониторинга подземных вод составлялся с учётом рекомендаций, изложенных в ГОСТ Р 56060-2014 и Методических рекомендациях ВСЕГИНГЕО [15], специальных – на основании перечня и состава отходов, представленного в ОВОС [14]. Многие показатели, относящиеся к общим, содержатся и в перечне характерных для объекта (специальных) веществ, например, медь, цинк, свинец, фториды, НП и другие.

В таблице 1 приведён перечень ЗВ, подлежащих мониторингу в подземной воде, упорядоченный по убыванию степени токсичности. Для ранжирования поллютантов мы предлагаем использовать индекс токсичности, зависящий от предельно допустимой концентрации (ПДК) вещества и его класса опасности:

$$I_n = 9 + \lg \frac{1}{k_h \cdot C_n}, \quad (1)$$

где I_n – индекс токсичности n -го поллютанта, k_h – коэффициент, зависящий от класса опасности h , C_n – предельно допустимая концентрация n -го вещества (мг/дм³) в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 и Едиными санитарно-эпидемиологическими и гигиеническими требованиями к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), утверждёнными решением Комиссией Таможенного Союза от 28 мая 2010 года № 299 (в редакции, действующей с 27.02.2024). Значения коэффициентов k_h приняты следующие: $k_1=1$; $k_2=20$; $k_3=600$; $k_4=1200000$.

Значения коэффициентов в формуле (1) предложены нами, исходя из следующих соображений:

- ведущим фактором ранжирования является класс опасности вещества, т. е. какое вещество h -го класса опасности не может иметь индекс токсичности ниже, чем любое из веществ $h+1$ -го класса опасности;
- коэффициент k_1 для 1-го класса опасности по определению равен 1;
- коэффициенты k_h для остальных классов опасности подбираются таким образом, чтобы последовательность значений индекса токсичности была монотонно убывающей;

Таблица 1 / Table 1

Перечень показателей мониторинга подземных вод / List of indicators for monitoring ground waters

№ п/п No.	Контролируемые вещества или параметры / Controlled substances or parameters	Класс опасности Hazard class	ПДК (мг/л) или норматив МАС (mg/L) or standard	Индекс токсичности Toxicity index I_n
1	Бенз[а]пирен / Benzo[a]pyrene	1	0,00001	14,00
2	Ртуть / Mercury	1	0,0005	12,30
3	Бензол / Benzene	1	0,001	12,00
4	Мышьяк / Arsenic	1	0,01	11,00
5	Кадмий / Cadmium	2	0,001	10,70
6	Фенол / Phenol	2	0,003	10,22
7	Пестициды (среднее по 4 веществам) / Pesticides (average of 4 substances)	2	0,008	9,80
8	Свинец / Lead	2	0,01	9,70
9	Никель / Nickel	2	0,02	9,40
10	Литий / Lithium	2	0,03	9,22
11	Серебро / Silver	2	0,05	9,00
12	Хром / Chromium	2	0,05	9,00
13	Цианиды / Cyanides	2	0,07	8,85
14	Кобальт / Cobalt	2	0,1	8,70
15	Бор / Boron	2	0,5	8,00
16	Фториды / Fluorides	2	1,5	7,52
17	Нитриты / Nitrites	2	3,0	7,22
18	Нефтепродукты / Petroleum products	3	0,1	7,22
19	Марганец / Manganese	3	0,1	7,22
20	Железо общее / Iron total	3	0,3	6,74
21	Медь / Copper	3	1,0	6,22
22	Олово / Tin	3	2,0	5,92
23	Фосфаты / Phosphates	3	3,5	5,68
24	Цинк / Zinc	3	5,0	5,52
25	Нитраты / Nitrates	3	45	4,57
26	Магний / Magnesium	3	50	4,52
27	Натрий / Sodium	3	200	3,92
28	СПАВ / Synthetic surfactants	4	0,1	3,92
29	Аммоний / Ammonium	4	1,5	2,74
30	Кальций / Calcium	4	180	0,67
31	Хлориды / Chlorides	4	350	0,38
32	Калий / Potassium	4	350	0,38
33	Сульфаты / Sulfates	4	500	0,22
34	Сухой остаток / Dry residue	–	1500	–
35	Гидрокарбонаты / Hydrocarbonates	–	400	–
36	рН	–	6-9	–
37	Окисляемость перманганатная Oxidizability of permanganate	–	7	–
38	Общая жёсткость / Overall rigidity	–	10	–

Примечание: прочерк означает отсутствие данных.
Note: a dash indicates no data.

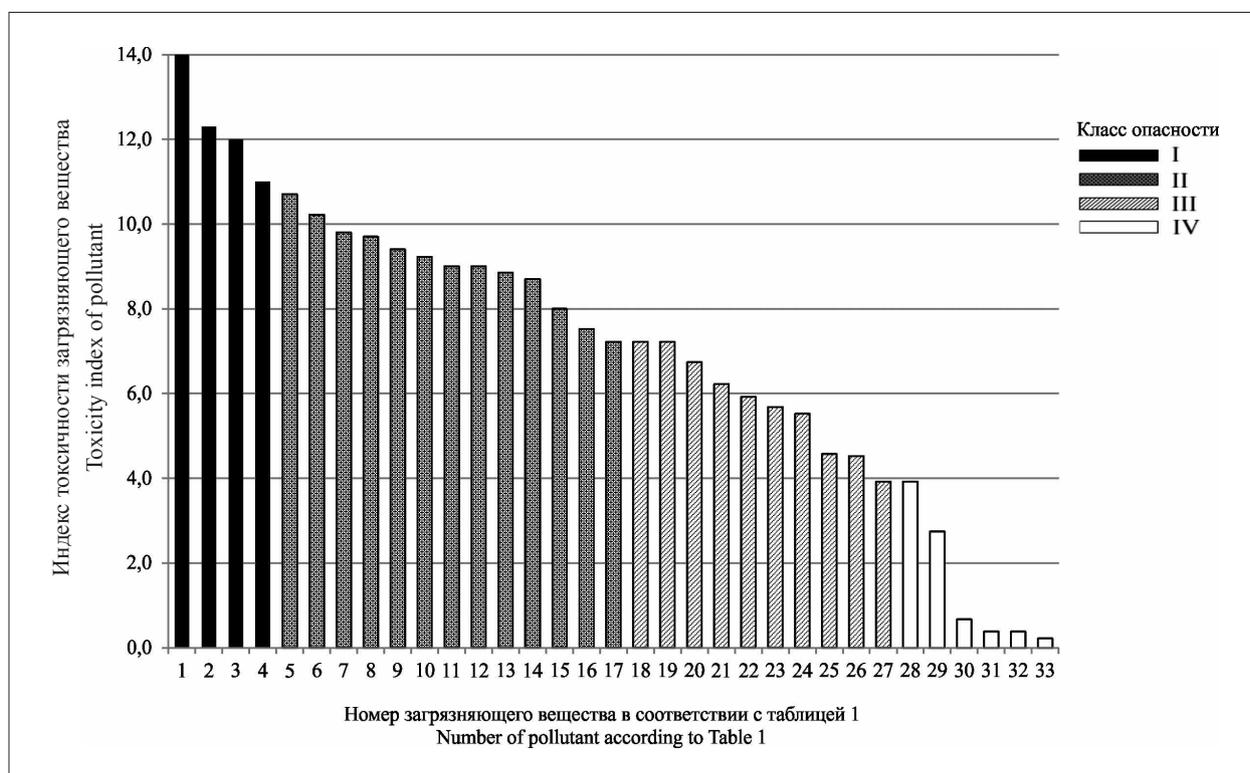


Рис. 2. Ранжирование загрязняющих веществ в подземных водах по убыванию индекса токсичности
 Fig. 2. Ranking of pollutants in groundwater in descending order of toxicity index

– аддитивная константа 9 подобрана так, чтобы индекс токсичности наименее токсичного вещества был положительным.

В качестве ПДК пестицидов приведено среднее геометрическое по 4 наиболее распространённым сельскохозяйственным химикатам – ДДТ (0,1 мг/л), ГХЦГ (0,004 мг/л), 2,4-Д (0,0002 мг/л) и карбофос (0,05 мг/л).

Кроме того, в соответствии с ГОСТ Р 56060-2014 в перечень включены некоторые параметры, которые не являются поллютантами или токсикантами, но имеют важное значение для оценки качества воды (рН, окисляемость, жёсткость).

Соответствующая диаграмма приведена на рисунке 2. Она отражает убывание индекса токсичности ЗВ, перечисленных в таблице 1. На рисунке 2 выделяются 4 группы ЗВ и показателей, относящихся к разным классам опасности.

Периодичность отбора и анализа проб подземных вод – 3 раза в год в тёплое время. Согласно СП 47-13330-2016, возможность использования результатов ИЭИ по подземным и поверхностным водам на незастроенных и застроенных территориях ограничивается 3 и 2 годами соответственно. В связи с этим до начала функционирования ПТК в рамках фонового обследования природного комплекса

необходимо отобрать пробы и проанализировать их по всему перечню показателей, предлагаемых для мониторинга.

В процессе функционирования объекта при выявлении превышений нормативов по контролируемым показателям рекомендуемая частота анализа компонентов, не имеющих непосредственного отношения к составу перерабатываемых отходов, в зависимости от результатов последнего определения следующая:

- при >10 ПДК – еженедельно,
- при 1–10 ПДК – ежемесячно.

Перечень показателей мониторинга подземных и поверхностных вод и регламент контроля могут корректироваться в связи с изменением номенклатуры утилизируемых отходов и технологии их переработки.

Мониторинг поверхностных вод. Рассматриваемая территория расположена в бассейне р. Вятки, площадка ПТК «Мирный» находится за пределами водоохранной зоны р. Вятки и её притоков – рек Холуница и Погиблица. Воды рек не используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Местами в непосредственной близости от промплощадки с северной стороны наблюдается заболоченность территории вокруг ПТК. Ближайшие водоёмы – пруды-копани (№№ 1–3 на рисунке 1) – искусственного

происхождения, образованы вследствие выемки грунта при строительстве объекта хранения химического оружия и ОУХО, а также при строительстве полигона на обеих площадках. Их характеристика представлена в таблице 2.

Согласно результатам ИЭИ [13], вода в прудах по показателю рН является нейтральной. Содержание большинства определяемых компонентов во всех водоёмах очень низкое, на уровне предела обнаружения методик. Содержание органических веществ, оцениваемое по показателям БПК₅, перманганатная окисляемость, ХПК выше в прудах № 2 и № 3 по сравнению с другими водоёмами. При том, что не выявлено превышений ПДК определяемых показателей, было отмечено, что вода в прудах очень отличается. Например, в пруду-накопителе на площадке № 1 можно отметить повышенное содержание хрома, марганца, кадмия и цинка. В накопителе 2 выявлено повышенное содержание никеля и хрома. Но почти во всех водоёмах в 2024 г. выявлено повышенное содержание органических веществ и низкое содержание растворённого кислорода в воде, что обусловлено погодными условиями летнего периода: высокими температурами и крайне малым количеством осадков. Дефицит кислорода в воде оказывает негативное

влияние на гидробионтов, способствует «заморным» явлениям в водоёмах.

Кроме данных водных объектов целесообразно проводить наблюдения в контролируемых и фоновых створах на р. Погиблице выше и ниже сброса стоков, а также на р. Вятке ниже и выше устья р. Погиблицы (рис. 3, см. цв. вкладку IV). Отбор поверхностных вод на территории СЗЗ (пруды-копани) рекомендуется проводить три раза в год, а в контролируемых и фоновых створах на р. Погиблице выше и ниже сброса стоков, а также на р. Вятке ниже и выше устья р. Погиблицы 2 раза в год (в весенний и летний периоды).

Перечень показателей мониторинга поверхностных вод несколько отличается от подземных вод, хотя его специфическая составляющая, учитывающая состав образующихся отходов, аналогична. При формировании перечня учитывались требования ГОСТ 56060-2014 и ГОСТ 58556-2019. Согласно ГОСТ 58556-2019, для оценки качества природных вод с экологических позиций используют комплексный показатель антропогенной нагрузки (ПАН), рассчитываемый по базовым анализам-маркерам, характеризующим типичные негативные воздействия (рН, сухой остаток, взвешенные вещества, ХПК, БПК, азот аммония, азот нитритов, азот нитратов,

Таблица 2 / Table 2
Основные характеристики прудов в районе промплощадки ПТК «Мирный»
Main characteristics of ponds in the area of the industrial site PTK "Mirny"

№ п/п No.	Название Name	Удалённость от ПТК, км Distance from PTC, km	Местоположение Location	Размеры водного объекта Dimensions of the water body
1	пруд-копань № 1 artificial pond No. 1	0,8	в лесу на просеке, к северо-западу от ПТК in the forest in a clearing, northwest of the PTK	длина 225 м; ширина 30 м; средняя глубина 1,2 м; площадь 6400 м ² length 225 m; width 30 m; average depth 1.2 m; area 6400 m ²
2	пруд-копань № 2 artificial pond No. 2	3,0	в жилом посёлке и частично рядом с шоссе-ной дорогой «ОУХО – пос. Мирный» in the residential settlement and partly next to the highway "OUHO – Mirny settlement"	длина 170 м; ширина 60 м; средняя глубина 1,2 м; площадь 10500 м ² length 170 m; width 60 m; average depth 1.2 m; area 10500 m ²
3	пруд-копань № 3 artificial pond No. 3	1,4	к югу от ОУХО; между восточной границей ОУХО и шоссе-ной дорогой «ОУХО – пос. Мирный» to the south of the OWHO; between the eastern border of the OWHO and the highway "OUHO – Mirny settlement"	длина 200 м; ширина 90 м; средняя глубина 0,8 м; площадь 17900 м ² length 200 m; width 90 m; average depth 0.8 m; area 17900 m ²

фосфор фосфатов, железо общее, марганец общий). Таким образом, к указанному в таблице 1 списку из 38 показателей добавляются ещё два: ХПК и БПК.

Важным направлением мониторинга природных вод является теоретическая интерпретация результатов наблюдений и прогнозирование дальнейшей динамики гидрологической и гидрогеологической ситуации с использованием соответствующих программных средств. Для математического моделирования движения подземных вод можно рекомендовать программу VisualModFlow канадской фирмы WaterlooHydrogeologic, а также отечественные АНСДИМАТ (Горный институт, Санкт-Петербург) или Логос Гидрогеология (Росатом). Расчёты течения и загрязнения поверхностных вод могут выполняться при помощи программ линейки MIKE Датского гидрологического института (DHI) или отечественного комплекса CARDINAL (ООО Кардинал Софт, г. Санкт-Петербург).

Кроме химических показателей контроля состояния поверхностных вод должен осуществляться и по биологическим показателям, прежде всего, как рекомендовано в ГОСТ 58556-2019, это острая токсичность.

В материалах ИЭИ [13] проектируемого объекта «Мирный» также представлены результаты биоиндикации. В частности, в составе макрозообентоса прудов установлено обитание представителей 71 таксона видового и надвидового рангов из 22 систематических групп; выявленные организмы относятся к восьми классам и пяти типам (Cnidaria, Nematelminthes, Annelida, Mollusca, Arthropoda).

Общая численность донных организмов в разных водоёмах изменялась от 5,2 до 16,1 тыс. экз./м²; общая биомасса – от 3,9 до 41,9 г/м². Худшая экологическая ситуация зарегистрирована на пруду № 2, бентоценозы которого отличались невысоким таксономическим богатством, снижением биоразнообразия, наличием черт монодоминантности, выпадением представителей наиболее чувствительных к загрязнению групп. Эти оценки соответствовали результатам химического анализа.

Оптимальная периодичность наблюдений предполагает ежегодный двукратный отбор проб воды, донных отложений и макрозообентоса: весной (после окончания снеготаяния) и в конце лета – начале осени (в период наиболее активного функционирования донных сообществ).

Использование методов биоиндикации требует специальных знаний и предполагает

привлечение высококлассных специалистов – биологов. Однако эти методы позволяют объективно судить о благоприятности среды для существования живого и, по возможности, должны применяться для характеристики ОС в районе особо опасных объектов. Методы биоиндикации успешно зарекомендовали себя при проведении оценки качества воды в районе функционирования ОУХО [11, 16, 17].

Донные отложения. Необходимым элементом комплексной оценки антропогенного влияния на водные объекты является мониторинг донных отложений, способных накапливать ЗВ.

Отбор проб донных отложений проводится в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01-80. Пробы донных осадков отбираются в пунктах отбора проб поверхностных вод (рис. 3). Перечень определяемых в них показателей соответствует перечню показателей, рекомендуемых для определения в почвах [18], однако он может корректироваться в зависимости от содержания ЗВ в поверхностных водах. Критерием оценки загрязнённости донных отложений при отсутствии ПДК могут быть допустимые концентрации веществ в почвах по СанПиН 1.2.3685-21. Кроме того, о наличии загрязнения в реках можно судить по разности значений контролируемых показателей в пробах как воды, так и донных отложений, отобранных выше и ниже от устья притока.

Заключение

На основании материалов проектной документации, материалов ОВОС и ИЭИ для создания производственно-технического комплекса по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов I и II классов опасности «Мирный», опираясь на данные многолетних мониторинговых исследований в районе бывшего объекта хранения и уничтожения химического оружия «Марадыковский», разработаны научные подходы к созданию системы экологического мониторинга подземных и поверхностных вод на территории создаваемого нового Экотехнопарка «Мирный».

Основными принципами создания сети мониторинга природных вод в окрестностях создающегося ПТК являются:

- использование существующей сети мониторинга ОУХО и хранения отходов его ликвидации;
- наличие наблюдательных скважин выше по потоку грунтовых вод источников за-

грязнения, непосредственно на промплощадке и ниже по потоку;

– возможность включения в сеть дополнительных скважин на промплощадке после утверждения генплана размещения всех источников воздействия.

Мониторинг подземных вод предложено проводить по результатам анализа проб, отобранных из 11 наблюдательных скважин, 5 из которых расположены по периметру объекта, 6 – по направлению движения потока подземных вод.

Мониторинг поверхностных вод рекомендуется проводить на водных объектах, расположенных непосредственно в СЗЗ объекта, и на ближайших водотоках. Это пруды-копани, р. Погиблица и р. Вятка.

Выбор контролируемых показателей мониторинга природных вод базируется на перечне веществ, участвующих в технологическом процессе и образующихся в результате утилизации отходов. Он должен также включать вещества, концентрации которых по данным ИЭИ или фоновому обследованию превышали ПДК либо фоновые значения. Кроме того, должны учитываться показатели, обязательные для определения в природных водах согласно нормативным документам. Для формирования перечня приоритетности наблюдаемых параметров природных вод и водных объектов предложен логарифмический индекс токсичности ЗВ, основанный на классах токсичности и величинах ПДК.

По подземным водам в данный перечень экологического мониторинга рекомендуется включить 38 показателей, по поверхностным водам – 40. Кроме химических показателей, контроль состояния поверхностных вод рекомендуется осуществлять и по биологическим показателям, проводить мониторинг донных отложений, а также в соответствии с требованиями ГОСТ 58556-2019 необходимо определять острую токсичность методами биотестирования.

Регламент проведения мониторинговых исследований для подземных и поверхностных вод имеет свои особенности. Отбор подземных вод из наблюдательных скважин рекомендуется проводить 3 раза в год (после пика весеннего паводка, в летний сезон и осеннюю межень) и выполнять полный химический анализ по рекомендованному перечню показателей. Отбор поверхностных вод на территории СЗЗ (пруды-копани) рекомендуется проводить также три раза в год, а в контролируемых и фоновых створах на р. Погиблице выше

и ниже сброса стоков, а также на р. Вятке ниже и выше устья р. Погиблицы 2 раза в год (в весенний и летний периоды). При выявлении превышений нормативов по контролируемым показателям рекомендуемая частота анализа компонентов, не имеющих непосредственного отношения к составу перерабатываемых отходов, в зависимости от результатов последнего определения должна быть следующей: при >10 ПДК еженедельно, от 1 до 10 ПДК – ежемесячно.

При внедрении новых технологий обезвреживания и утилизации отходов, а также в случае возникновения аварийных ситуаций перечень показателей мониторинга подземных и поверхностных вод и регламент контроля могут оперативно корректироваться.

Для характеристики качества воды в водоёмах рекомендуется использовать методы биоиндикации, в частности, проводить анализ таксономического состава донных беспозвоночных и количественных показателей бентосных сообществ, а также качественную оценку состояния водоёмов с применением биоиндикационных индексов.

Организация, осуществляющая экологический мониторинг подземных и поверхностных вод, должна располагать программными средствами моделирования и прогноза динамики распространения загрязнений.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 122040100032-5.

References

1. Barenboym G.M., Venitsianov E.V., Danilov-Danilyan V.I. Some scientific and technological problems of design, creation and operation of water bodies monitoring systems // Voda: khimiya i ekologiya. 2008. No. 1. P. 3–7 (in Russian).
2. Tazoe H. Water quality monitoring // Analytical Sciences. 2023. V. 39. P. 1–3. doi: 10.1007/s44211-022-00215-2
3. Zainurin S.N., Wan Ismail W.Z., Mahamud S.N.I., Ismail I., Jamaludin J., Ariffin K.N.Z., Wan Ahmad Kamil W.M. Advancements in monitoring water quality based on various sensing methods: a systematic review // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2022. V. 19. Article No. 14080. doi: 10.3390/ijerph192114080
4. Szczerbińska N., Gaczyńska M. Biological methods used to assess surface water quality // Arch. Pol. Fish. 2015. V. 23. P. 185–196. doi: 10.1515/aopf-2015-0021

5. Aracic S., Manna S., Petrovski S., Wiltshire J.L., Mann G., Franks A.E. Innovative biological approaches for monitoring and improving water quality // *Front. Microbiol.* 2015. V. 6. Article No. 826. doi: 10.3389/fmicb.2015.00826
6. Bioindicators and biotest systems in environmental assessment of man-made territories / Eds. T.Ya. Ashikhmina, N.M. Alalykina. Kirov: O-Kratkoe, 2008. 336 p. (in Russian).
7. Korolkov M.V., Mazhuga A.G. Fundamentals of the state policy of the Russian Federation to create a new industry for industrial waste processing // *Theoretical and Applied Ecology.* 2020. No. 4. P. 6–12 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-006-012
8. Ashikhmina T.Ya. Comprehensive environmental monitoring of chemical weapons storage and destruction facilities. Kirov: Vyatka, 2002. 544 p. (in Russian).
9. Chupis V.N. The System of ecological monitoring of chemical weapons decommission plants. Experience of exploitation and the main directions of development // *Theoretical and Applied Ecology.* 2010. No. 1. P. 27–34 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2010-1-027-034
10. Ashikhmina T.Ya., Menyalin S.A., Mamayeva Yu.I., Novikova E.A., Kantor G.Ya. Environmental ecological control and monitoring in the vicinity of the chemical weapons decommission plant “Maradikovskiy” in Kirov Region // *Theoretical and Applied Ecology.* 2010. No. 1. P. 57–64 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2010-1-057-064
11. Kochurova T.I. Zoobenthos in monitoring system of surface water objects within the safety measures zone in the CWDO “Maradykovskiy” // *Theoretical and Applied Ecology.* 2008. No. 4. P. 47–53 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2008-4-047-53
12. Medvedev V.V., Laktionova T.N. Analysis of the experience of European countries in monitoring (review) // *Pochvovedenie.* 2012. No. 1. P. 106–114 (in Russian).
13. Project documentation “Industrial and technical complex for processing, recycling and rendering harmless waste of I and II hazard classes “Maradykovskiy”. Moskva: Gosudarstvennaya korporatsiya po atomnoy energii “Rosavtom”, Aktsionernoe obshchestvo “Gosudarstvennyy spetsializirovannyi proektnyy institut”, 2020. 1360 p. (in Russian).
14. Industrial and technical complex for processing, recycling and rendering harmless waste of I and II hazard classes “Maradykovskiy”. Environmental impact assessment. Saratov: OOO “NII tekhnologiy organicheskoy, neorganicheskoy khimii i biotekhnologiy”, 2020. 320 p. (in Russian).
15. Guidelines for the identification and assessment of groundwater pollution. Compilers: V.M. Goldberg, S.G. Melkanovitskaya, V.M. Lukyanchikov. Moskva: VSEGINGEO, 1988. 61 p. (in Russian).
16. Kochurova T.I., Kantor G.Y. Macrozoobenthos of middle course of the Vyatka River in the area of the chemical weapons destruction facility // *Inland Water Biology.* 2013. No. 4. P. 52–60 (in Russian). doi: 10.7868/S0320965213040104
17. Kochurova T.I. Zoobenthos in bioindication of lakes near a former chemical weapons destruction site // *Biodiagnostics of the state of natural and natural-technogenic systems: Materialy XIX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem.* Kirov: Vyatskiy gosudarstvennyy universitet, 2021. P. 362–367 (in Russian).
18. Dabakh E.V., Ashikhmina T.Ya., Kantor G.Ya., Timonov A.S., Domnina E.A. Soil monitoring in the area of hazardous industrial waste disposal facilities // *Theoretical and Applied Ecology.* 2024. No. 1. P. 82–89 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2024-1-082-089