

УДК 631.67 : 631.86

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА БИОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД (НА ПРИМЕРЕ ОАО «СГЦ «ЗАПАДНЫЙ»)

А.А. Волчек, доктор географических наук, профессор
Брестский государственный технический университет
г. Брест, Беларусь

О.Е. Чезлова, научный сотрудник

М.М. Дашкевич, научный сотрудник

А.Н. Лицкевич, научный сотрудник

М.В. Гулькович, младший научный сотрудник

О.А. Черничко, младший научный сотрудник
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси
г. Брест, Беларусь

Аннотация

Исследовано влияние орошения осветленными животноводческими сточными водами на состояние грунтовых вод, находящихся в зоне влияния земледельческих полей орошения. Даны количественные параметры основных химических показателей и представлена их пространственная структура. Приоритетными химическими загрязнителями грунтовых вод явились биогенные формы азота, медь, цинк, кобальт, никель, хром.

Ключевые слова: сточные воды, грунтовые воды, дренажные воды, поверхностные воды, биогенные элементы, химическое потребление кислорода, тяжелые металлы

Abstract

A.A. Volchek, O.E. Chezlova, M.M. Dashkevich, A.N. Litskevich, M.V. Gulkovich, O.A. Chernichko
IRRIGATION BY WASTEWATER OF PIGS COMPLEXES AFFECTS BIOGENEOUS POLLUTION OF GROUND WATERS (ON THE EXAMPLE OF JSC "SHC" ZAPADNY")

The effect of irrigation with clarified livestock sewage on the state of groundwater in the zone of influence of agricultural irrigation fields is studied. Quantitative parameters of the basic chemical parameters are given and their spatial structure is presented. Priority chemical pollutants of groundwater were biogenic forms of nitrogen, copper, zinc, cobalt, nickel, chromium.

Keywords: wastewater, groundwater, drainage water, surface water, biogenic elements, chemical oxygen demand, heavy metals

Введение

Одним из основных источников загрязнения окружающей среды биогенными элементами, токсическими веществами и возбудителями инфекционных заболеваний являются свиноводческие комплексы. Наибольшие антропогенные нагрузки на экосистемы оказывают предприятия индустриального животноводства, что обусловлено высокой плотностью животных, большими объемами образующихся сточных вод (СВ). В Республике Беларусь большинство комплексов не обеспечены необходимым объемом навозохранилищ, некоторые не имеют достаточных площадей земледельческих полей орошения (ЗПО) для экологически безопасной утилизации животноводческих стоков [1].

Бессистемное внесение жидких органических удобрений в высоких дозах и отсутствие систематического контроля состояния окружающей среды сопровождается опасным химическим и биологическим загрязнением почвы, поверхностных, грунтовых вод, атмосферного воздуха, продукции растениеводства, ростом уровня заболевания населения и животных [1-8].

К основным химическим загрязнителям сельскохозяйственных земель в районе расположения животноводческих объектов относятся: нитраты, медь, нитриты, цинк, сульфаты, аммоний. При этом основными источниками загрязнения являются минеральные азотные соединения. Согласно результатам мониторинговых исследований, регулярное внесение

бесподстилочного навоза в дозах превышающих N_{1000} обуславливает химическое и биологическое загрязнение почв сельскохозяйственных полей. Растительная продукция, полученная на полях с загрязненными почвами, характеризуется высоким содержанием нитритов, нитратов, калия, фосфора, меди, никеля, опасным нарушением соотношения $K/Ca + Mg, K/Na, Ca/P$, сахара и белка [9, 10]. Отмечается, что при увеличении норм удобрений возрастает миграция биогенных элементов по почвенному профилю. Так, на глубине 140–500 см сосредотачивается 80 % нитратного и аммиачного азота, 90 % подвижного фосфора, обменного кальция и магния. В целом содержание нитратов и подвижного фосфора повышается во всех горизонтах почвы [8].

Как показывает П.Ф. Тиво [6], на миграцию нитратов в почве влияет возделываемая культура. Так, при возделывании на полях орошения вместо многолетних трав ячменя усиливается миграция их по профилю почвы, и на уровне 40–60 см концентрация нитратов достигает значения 260 мг/дм^3 , что многократно выше, чем под луговыми угодьями. Аналогичная закономерность наблюдается и под пропашными культурами.

Следствием миграционных процессов может быть загрязнение грунтовых вод соединениями фосфора и азота. Концентрация азота аммонийного становится выше ПДК на 80 %, азота нитритного – на 25 %, азота нитратного – на 85 %. При прекращении поливов СВ содержание азота аммонийного в грунтовых водах снижается на 26 %, нитратов – на 34 %, нитритов – на 26 %. Характер загрязнения грунтовых вод показан в лизиметрических исследованиях. При изучении выноса различных форм азота почвенными водами при различных нормах внесения наибольшая степень загрязнения наблюдалась на варианте с нормой внесения азота 400 кг/га . При внесении 300 кг азота СВ на 1 га концентрация различных форм азота не превышала допустимые значения [3, 8].

Особое влияние орошение животноводческими стоками оказывает на качество природных вод. В поверхностном стоке содержание солей (сумма ионов) колебалось в пределах 50–130 (контроль) и 60–260 мг/дм^3 (орошаемый животноводческими стоками участок), причем концентрация ионов в поверхностном и дренажном стоке была подвержена значительным колебаниям по гидрологическим фазам водного режи-

ма. В отдельные периоды содержание аммония превышало ПДК в 3–4, фосфора – в 8–19 раз. Содержание нитратов не превышало ПДК. В прудах накопителях также отмечена повышенная концентрация аммония – в целом выше ПДК. Содержание фосфора колебалось от нормированных до 10–кратных [5, 6].

С экологической точки зрения необходимо контролировать содержание тяжелых металлов в орошаемых почвах и природных водах. Ряд ученых отмечают значимость подобных исследований, особенно в отношении меди, никеля, цинка, марганца, кадмия [7, 9]. Кроме того, показано, что регулярное применение бесподстилочного навоза ($N_{300}-N_{700}$) не влияло на общую токсичность почвы. Достоверное накопление подвижных форм цинка и меди происходило только при использовании максимальных норм ($N_{600}-N_{700}$) удобрений [8].

Анализ литературных источников показал, что при орошении сельхозугодий животноводческими СВ может происходить загрязнение химическими компонентами дренажных, грунтовых и поверхностных вод, гидрологически связанных с зоной орошения, что на данный момент изучено недостаточно.

Целью данной работы является оценка влияния орошения сточными водами свиноводческих комплексов на биогенное загрязнение грунтовых вод.

В ходе выполнения работы решались следующие задачи:

- определение биогенных элементов СВ, дренажных и поверхностных вод ЗПО: азота аммонийного, азота нитратного, азота нитритного, фосфора фосфатного;
- определение химического потребления кислорода (ХПК) в СВ, дренажных и поверхностных водах ЗПО;
- определение содержания тяжелых металлов в СВ, дренажных и поверхностных водах ЗПО: кадмия, свинца, цинка, никеля, хрома, кобальта, меди и марганца.

Объекты и методы исследования

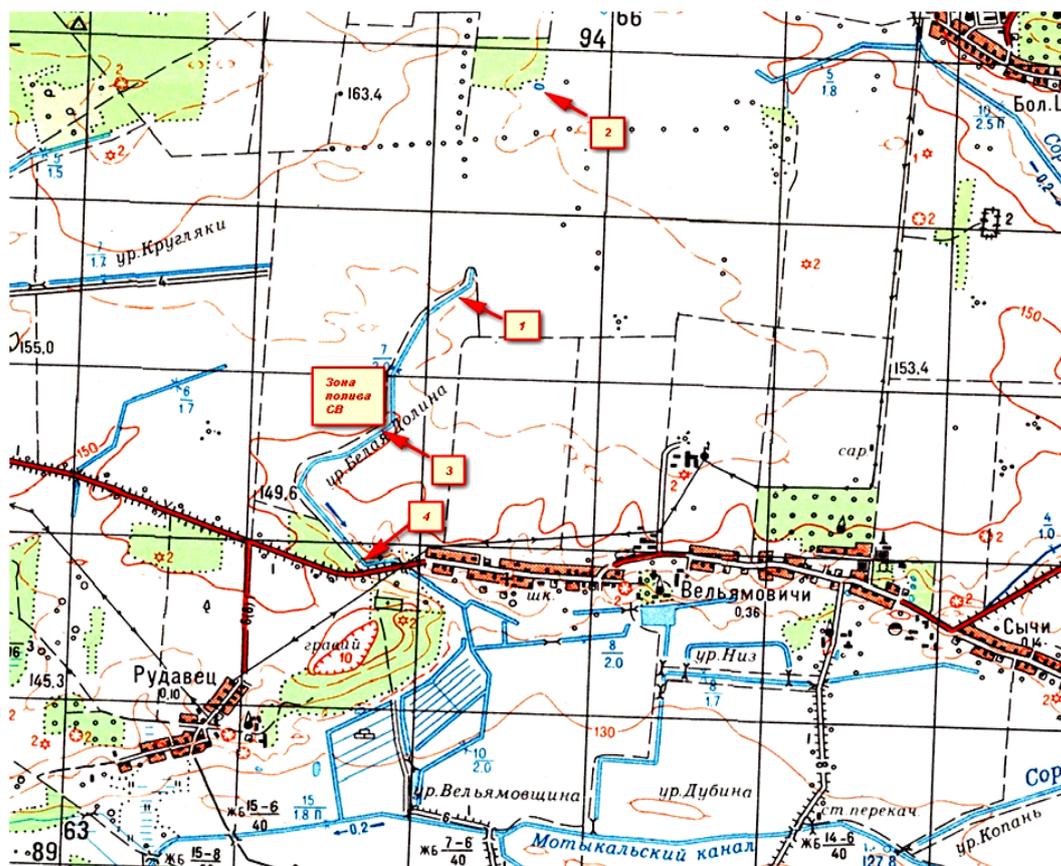
В Беларуси функционирует около 110 крупных свиноводческих комплексов, которые рассчитаны на выращивание и откорм 12, 24, 54, 108 тыс. голов в год. Здесь сконцентрировано 1,5–1,6 млн. голов свиней, или 65–70 % к общему поголовью, содержащемуся на сельскохозяйственных предприятиях. Самая высокая концентрация поголовья свиней приходится на Брестскую область. Здесь на 11 комплексах со-

держится около 500 тыс. голов. ОАО «СГЦ «Западный» является наиболее крупным из них, рассчитанный на воспроизводство, выращивание и откорм в течение года более 100000 голов свиней. В год на предприятии образуется до 400 тыс.м³ стоков, которые утилизируются на ЗПО.

ЗПО ОАО «СГЦ «Западный» являются типичными для юго-запада Беларуси. Среднемноголетнее количество атмосферных осадков по метеостанции Брест около 610 мм, а суммарное испарение составляет 550 мм [11]. Почва ЗПО характеризуется как дерново-подзолистая, глееватая. На исследуемом участке заложен гончарный дренаж на глубине 1,2 м. Зона исследования включала участок, отведенный для орошения – 40 га и прилегающий мелиоративный канал. Точки отбора проб: 1. поверхностные воды мелиоративного канала в 200 м выше зоны орошения; 2. СВ из резервуара осветленных стоков (РОС); 3. дренажные воды из дренажного устья; 4. поверхностные воды мелиоративного канала в 500 м ниже зоны орошения (рисунок 1).

Полив исследуемого участка производился в августе–сентябре 2014 г. после уборки выращиваемой культуры (ячмень)СВ из РОС. Фактическая оросительная норма на исследуемом участке составила в среднем 2000 м³/га. Отбор проб производился через 5 дней после полива. Погодные условия в день отбора проб (24.09.2014) были следующие: среднесуточная температура + 7,6 °С, без осадков. В период предшествующий отбору проб (с 18.09. по 23.09.2014 г.) погода отличалась неустойчивостью: среднесуточная температура колебалась от 15,1 °С (18.09.2014 г.) до 9,4 °С (23.09.2014 г.); осадки наблюдались 20.09, 22.09, 23.09. 2014 г. (соответственно 0,5; 18,0; 5,0 мм).

Отбор проб СВ, дренажных и поверхностных вод проводился в соответствии с СТБ ГОСТ Р 51592-2001 «Вода. Общие требования к отбору проб». Пробы из РОС и мелиоративного канала отбирались с глубины 10–15 см от поверхности воды. Дренажные воды отбирались непосредственно из дренажного устья в местах их впадения в мелиоративный канал. До начала исследования пробы хранились в холодильнике.



1. – мелиоративный канал 200 м выше зоны орошения; 2. – РОС; 3. – выход дренажных вод в мелиоративный канал; 4. – мелиоративный канал 500 м ниже зоны полива

Рисунок 1. – Зона проведения исследований и точки отбора проб

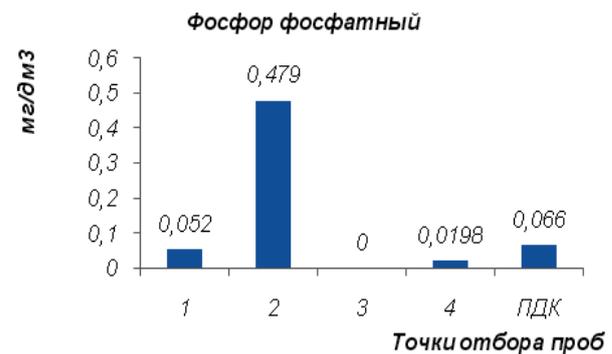
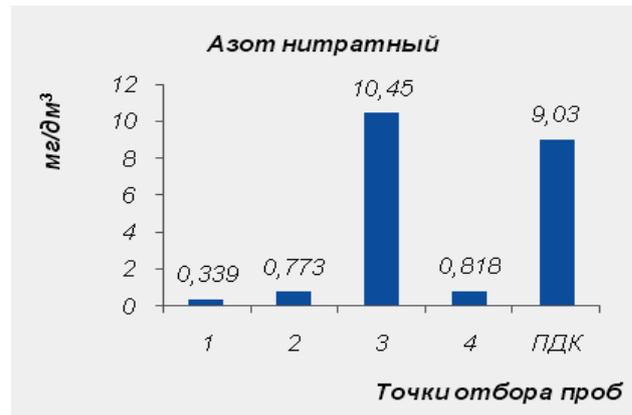
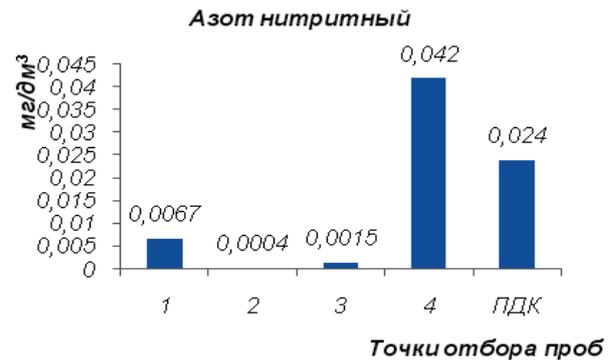
Определение азота аммонийного, нитратного и нитритного, фосфора фосфатного проводилось фотометрическим методом. Определение ХПК проводилось титриметрическим методом. Наличие тяжелых металлов (валовое содержание кадмия, свинца, цинка, никеля, хрома, кобальта, меди и марганца) определяли атомно-абсорбционным методом.

Результаты и их обсуждение

Помимо соответствия агромелиоративным требованиям состав оросительных СВ должен отвечать санитарно-гигиеническим требованиям, регламентируемым на территории Республики Беларусь ГОСТ 17.4.3.05-86 «Требования к сточным водам и их осадкам для орошения и удобрения» [12]. Требования к качеству поверхностных вод отражены в СанПин 2.1.2.12-33-2005 и Постановлении Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды [13, 14]. Соблюдение данных норм, а также учет баланса биогенных веществ, вносимых с поливной водой и выносимых с урожаем, и инфильтрации в нижележащие слои почв и за пределы ЗПО, позволит предотвратить загрязнение экосистем.

Содержание азота аммонийного и фосфора фосфатного в поливных водах находилось на высоком уровне (соответственно 105 и 0, 479 мг/дм³) и свидетельствовало о хороших удобрительных качествах СВ. Однако ПДК для поверхностных вод по данным компонентам была превышена соответственно в 270 и 7,3 раза. Содержание азота нитратов (0,773 мг/дм³) и азота нитритов (0,0004 мг/дм³) было значительно ниже ПДК (соответственно 9 и 0,024 мг/дм³).

Содержание биогенных элементов в исследуемых образцах по точкам отбора проб показано на рисунке 2.



- 1. – мелиоративный канал 200 м выше зоны полива;
- 2. – РОС Яцковичи;
- 3. – дренажное устье;
- 4. – мелиоративный канал 500 м ниже зоны полива

Рисунок 2. – Биогенные элементы в сточных, дренажных и поверхностных водах ОАО «СГЦ «Западный», мг/дм³

Оценивая содержание биогенных элементов в дренажных водах, прошедших через слой почвы, по сравнению с оросительными СВ (соответственно точки 3 и 2 на рисунке 2), можно отметить возрастание нитратного азота в 14 раз (с 0,773 до 10,45 мг/дм³), нитритного азота в 4 раза (с 0,0004 до 0,0015 мг/дм³) вследствие текущих процессов нитрификации и, возможно, вымывания данных компонентов из почвенного слоя. Содержание аммонийного азота снизи-

лось в 3 раза (со 105,02 до 35,34 мг/дм³), что также объясняется процессами нитрификации и поглощением элемента почвенным поглощающим комплексом (ППК). Содержание фосфора оказалось ниже предела измерений, что свидетельствует о значительном поглощении этого элемента ППК.

Вследствие различных процессов (разбавления, нитрификации и др.) в поверхностных водах водоприемного мелиоративного канала происходит либо нарастание (азот аммонийный, азот нитритный, азот нитратный), либо снижение (фосфор фосфатный) количества биогенных элементов. Так, необходимо отметить значительное возрастание азота нитритного. По сравнению с содержанием данного компонента в водах выше зоны полива количество его возрастает в 6 раз (с 0,007 до 0,042 мг/дм³). ПДК по этому элементу превышено в 1,8 раз. Содержание азота аммонийного увеличилось в 4 раза (с 0,91 до 3,88 мг/дм³), что также привело к превышению ПДК в 13 раз. Содержание азота нитратного возросло в 2,4 раза (с 0,339 до 0,818 мг/дм³), но это не привело к превышению ПДК по данному показателю. Содержание фосфора в поверхностных водах снизилось в 2,6 раза (с 0,052 до 0,0198 мг/дм³).

ХПК характеризует суммарное содержание в воде органических веществ. Степень органического загрязнения СВ была высокой. Значение ХПК определялось на уровне 860 мг О₂/дм³. Вследствие поглощения почвенным слоем (дренажные воды), разбавления (воды мелиоративного канала) происходит последовательное снижение данного показателя (рисунок 3).

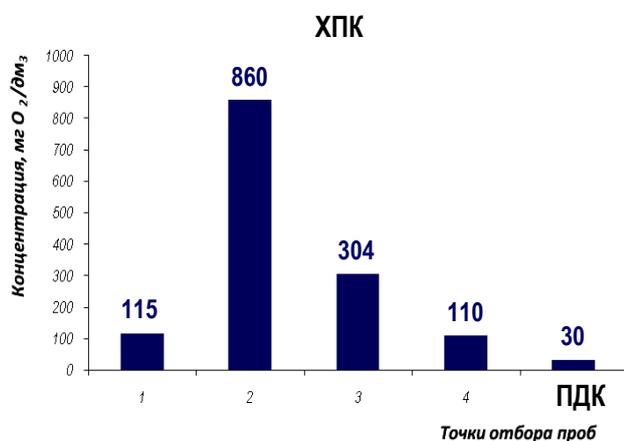


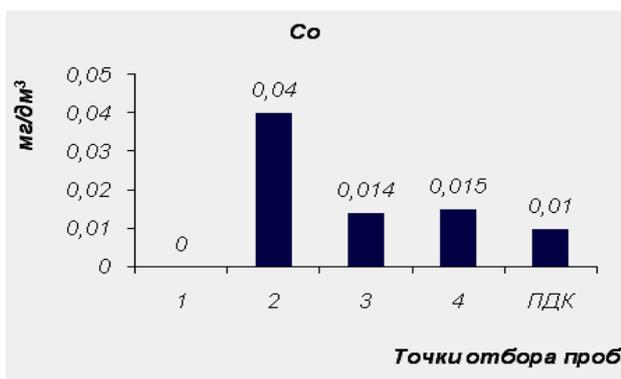
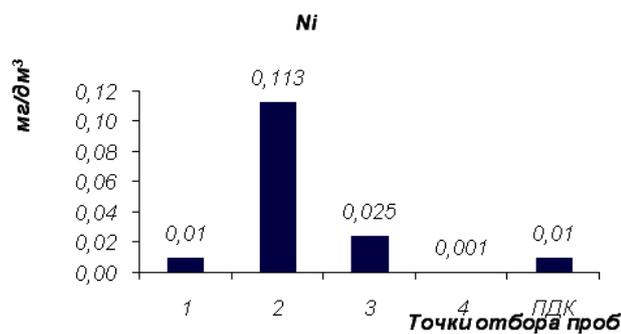
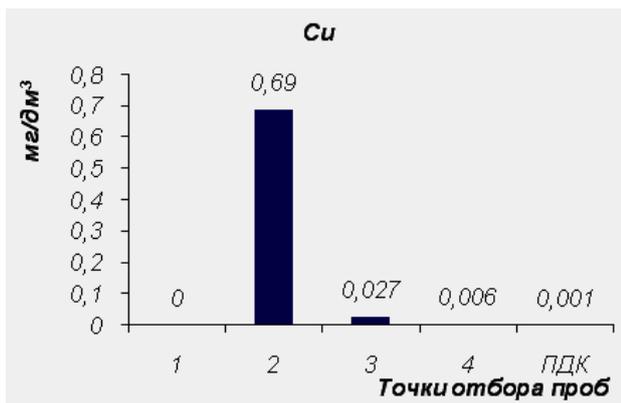
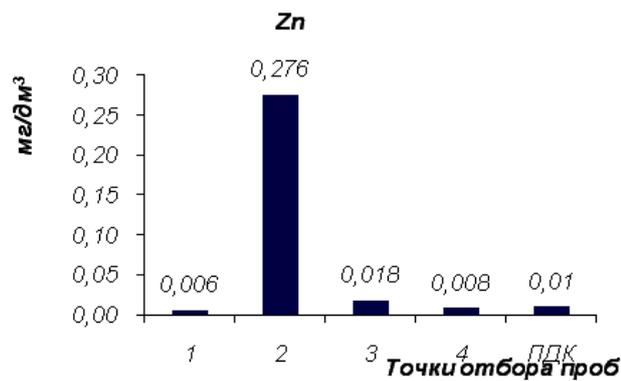
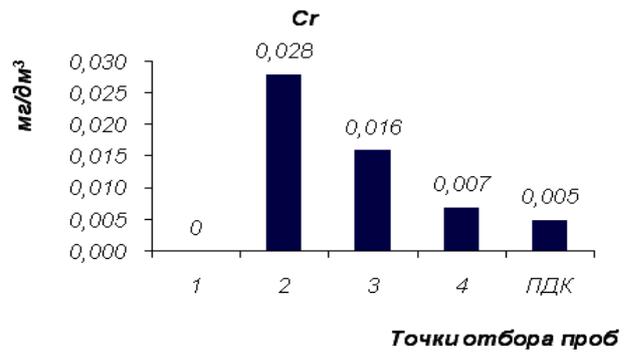
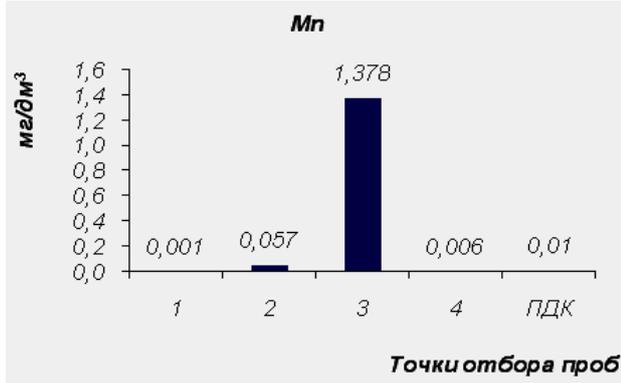
Рисунок 3. – ХПК в сточных, дренажных и поверхностных водах ОАО «СГЦ «Западный», мг О₂/дм³

По сравнению с СВ в дренажных водах произошло снижение на 65 %. Значения ХПК в поверхностных водах выше зоны полива и ниже находилось практически на одном уровне (115 и 110 мг О₂/дм³ соответственно), что свидетельствует о несущественном влиянии полива СВ на качество поверхностных вод по данному показателю.

К числу важнейших загрязнителей биосферы относятся тяжелые металлы, что связано с их высокой биологической активностью. При этом одни из них необходимы для обеспечения жизнедеятельности живых организмов (например, железо, цинк и др.), другие приводят к его отравлению и гибели. Среди металлов-токсикантов выделена приоритетная группа, в которую входят мышьяк, ртуть, свинец, кадмий, медь, цинк, хром и никель (первые четыре наиболее опасны). В живой организм тяжелые металлы попадают в основном через воду и, включившись в биохимический цикл, очень медленно покидают его, чаще всего не подвергаясь каким-либо существенным превращениям, как это бывает с органическими токсикантами. В водных экосистемах тяжелые металлы распределены следующим образом: 1) металл в растворенной форме; 2) сорбированный фитопланктоном; 3) удерживаемый донными отложениями в результате седиментации взвешенных веществ; 4) адсорбированный на поверхности донных отложений непосредственно из водной среды в растворимой форме; 5) находящийся в адсорбированной форме на частицах взвеси.

Тяжелые металлы, попавшие в водную среду, немедленно вовлекаются в цепь разнообразных перемещений и изменений в зависимости от разных факторов. Здесь могут наблюдаться следующие процессы: *физические* (механическое перемешивание, осаждение, адсорбция и десорбция, улетучивание, фотолиз), *химические* (комплексобразование, окислительно-восстановительные реакции, диссоциация, гидролиз), *биологические* (поглощение живыми организмами, разрушение и превращение с участием ферментов и метаболитов), *геологические* (накопление в донных осадках и породообразование) [15, 16].

В данном исследовании изучалось валовое содержание тяжелых металлов в исследуемых водах. Их содержание по точкам отбора проб отражено на рисунке 4.



1 – мелиоративный канал 200 м выше зоны полива;
2 – РОС Яцковичи; 3 – дренажное устье; 4 – мелиоративный канал 500 м ниже зоны полива

Рисунок 4. – Количественные параметры тяжелых металлов в сточных, дренажных и поверхностных водах ОАО «СГЦ «Западный», мг/дм³

Содержание наиболее опасных элементов, свинца и кадмия, во всех образцах находилось ниже предела определения. Содержание других тяжелых металлов в оросительных СВ превышало ПДК для поверхностных вод. Так, содержание меди превышало ПДК в 690 раз (0,69 мг/дм³), цинка в 28 (0,28 мг/дм³), марганца и хрома в 6 раз (соответственно 0,057 и 0,028 мг/дм³), кобальта в 4 раза (0,04 мг/дм³). В дренажных водах вследствие фильтрации через почвенный слой содержание исследуемых элементов значительно снижалось: меди – в 26, цинка – в 15, никеля – в 6, кобальта – в 3, хрома – в 2 раза. В 28 раз в дренажных водах возросло содержание марганца, что, возможно, объясняется вымыванием данного элемента из почвы. Однако в водах мелиоративного канала ниже зоны полива происходит резкое снижение данного компонента. Оценивая в целом влияние полива СВ на качество поверхностных вод (сравнивая содержание элементов в поверхностных водах выше и ниже зоны орошения), можно сказать, что содержание марганца возросло в 6 раз и достигло уровня 0,6 ПДК; цинка возросло в 1,3 раза и достигло уровня 0,8 ПДК. Содержание меди, кобальта, хрома в водах выше зоны орошения находилось ниже предела измерений, в водах ниже зоны орошения определялось соответственно на уровне 0,006 мг/дм³ (6 ПДК), 0,015 мг/дм³ (1,5 ПДК), 0,007 мг/дм³ (1,4 ПДК). Наблюдалось снижение количества никеля в 10 раз. Таким образом, влияние

полива СВ на загрязнение поверхностных вод по большинству исследованных элементов очевидно. Полученные данные требуют дополнительных исследований, так как биологическое действие металла определяется его состоянием в водах, и наибольшее значение имеет растворенная форма. Снижение количества тяжелых металлов в водах мелиоративного канала происходит за счет процессов адсорбции и седиментации. Данные процессы в наибольшей степени отмечаются в отношении марганца – между точкой выхода дренажных вод и через 500 м ниже по течению отмечается снижение содержания данного компонента в 230 раз. Количество никеля снизилось в 25 раз, меди в 4,5 раз, цинка в 2,3 раза, хрома в 2,3 раза, количество кобальта не изменилось. Таким образом, следует ожидать накопления в донных отложениях мелиоративного канала марганца, никеля, меди, цинка и хрома.

Исходя из полученных данных, для экологически безопасного орошения СВ ОАО СГЦ «Западный» рекомендуется:

1. Создать вокруг полей орошения санитарно-защитные зоны не менее 700 м.
2. В вегетационный период поливную норму снизить до 700–800 м³/га. Увеличить гигиенические интервалы между поливами до 1 месяца.
3. Для доочистки возвратных вод создать огражденную сеть поливаемых участков в виде ограждающих каналов или дамб.
4. В мелиоративном канале произвести посадки высшей водной растительности (рогоз узко- и широколистный, камыш, тростник, аир), обеспечивающей в процессе жизнедеятельности очистку воды от биогенных элементов, органических веществ, бактерий группы кишечной палочки.

5. Периодически производить чистку мелиоративного канала для предотвращения обратной миграции тяжелых металлов из донных отложений в поверхностную воду.

Заключение

1. Основными химическими загрязнителями грунтовых вод при орошении сточными водами ОАО «СГЦ «Западный» являются биогенные формы азота. Содержание азота аммонийного достигло значения 35,34 мг/дм³ (91 ПДК), что привело к превышению в 10 раз ПДК по данному компоненту в водах мелиоративного канала в 500 метрах ниже по течению. Количество нитратного азота определялось на уровне 10,45 мг/дм³ (1,16 ПДК), но не приводило к превышению ПДК в водах мелиоративного канала ниже по течению.

2. Полив сточными водами привел к увеличению содержания тяжелых металлов в грунтовых и поверхностных водах. Валовое содержание меди, кобальта и хрома в грунтовых водах превышало ПДК (соответственно 27 ПДК, 1,4 ПДК, 3,2 ПДК) и приводило к его превышению по данным элементам в поверхностных водах мелиоративного канала в 500 м ниже по течению (соответственно 6 ПДК, 1,5 ПДК, 1,4 ПДК); содержание марганца, цинка, никеля также превышало ПДК в грунтовых водах (соответственно 139 ПДК, 1,8 ПДК, 2,5 ПДК), но не вело к его превышению в поверхностных водах мелиоративного канала.

3. Для экологически безопасного орошения сточными водами необходимо в вегетационный период поливную норму снизить до 700–800 м³/га и увеличить гигиенические интервалы между поливами до 1 месяца.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Медведский, В.А. Охрана окружающей среды от загрязнения отходами животноводства: практическое пособие / В. А. Медведский, Т. В. Медведская. – Витебск: ВГАВМ, 2013. – 181 с.
2. Желязко, В.И. Использование бесподстилочного навоза на мелиорируемых агроландшафтах. Теория и практика / В.И. Желязко, П.Ф. Тиво. – Минск : ИООО «Правоэкономика», 2006. – 296 с.
3. Баранников, В.Д. Охрана окружающей среды при биологической очистке бесподстилочного навоза и использование его на кормовых угодьях : автореф. дисс. док. биол. наук : 16.00.06; 16.00.08 / В.Д. Баранников ; Рос. акад. сельхоз. наук, Всерос. НИИ ветеринарии, санитарии, гигиены и экологии. – Москва, 1993. – 47 с.
4. Захарова, О.А. Микробоценоз почвы при разных уровнях антропогенного воздействия: Монография / О.А. Захарова, Л.В. Кирейчева, Ю.А. Мажайский. – Рязань, 2004. – 162 с.

5. Голченко, М.Г. Влияние орошения кормовых угодий стоками животноводческих комплексов на природную среду / М.Г. Голченко, В.И. Желязко, Н.Н. Михальченко // Проблемы мелиорации водного хозяйства на современном этапе: Материалы международной научно-практической конференции. – Горки, 1999. – Ч.1. – С. 75-77.
6. Тиво, П. Ф. Некоторые проблемы использования навозных стоков свинокомплексов / П.Ф. Тиво, Л.А. Саскевич // Мелиорация переувлажненных земель: Сборник научных работ / Белорусский научно-исследовательский институт мелиорации и луговодства. – Минск, 1999. – Т.46. – С. 308-319.
7. Саскевич, Л.А. Химический состав животноводческих стоков и их ирригационная оценка / Л.А. Саскевич // Мелиорация переувлажненных земель. – Минск, 1998. – Т.45. – С. 274-285.
8. Тарасов, С.И. Агроэкологические особенности длительного применения бесподстилочного навоза / С.И. Тарасов, Н.А. Кумеркина // Химия в сельском хозяйстве. – 1996. – № 6. – С. 27-31.
9. Демидов, А.Л. Воздействие навозосодержащих отходов животноводческих объектов Республики Беларусь на почвенный покров / А.Л. Демидов, В.В. Мажинская, И.В. Жигунова // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства : сб. тр. III междунар. науч. экол. конф., Краснодар, 20 – 21 марта. – Краснодар, 2013. – С. 20-25.
10. Тарасов, С. И. Усовершенствованная система мониторинга почв полей утилизации бесподстилочного навоза, помета в зонах деятельности предприятий индустриального животноводства / С. И. Тарасов // Высокоэффективные системы использования органических удобрений и возобновляемых биологических ресурсов: сб. докл. / Российская академия сельскохозяйственных наук, Государственное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа" Россельхозакадемии; ред.: С. М. Лукин [и др.]. – Владимир, 2012. – С. 133-139.
11. Волчек, А.А. Мухавец : энциклопедия малой реки / А.А. Волчек [и др.]. – Брест : Академия, 2006. – 344 с.
12. Требования к сточным водам и их осадкам для орошения и удобрения. – ГОСТ 17.4.3.05-86. – 1987. – Введ. 01.07.87. – 4 с.
13. Санитарные правила и нормы «Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнения»: СанПин 2.1.2.12-33-2005. – утв. Постановлением Главного санитарного врача Республики Беларусь 28.11.2005г. № 198. – 20 с.
14. Об установлении и нормативов качества воды поверхностных водных объектов: постановление Министерства прир. рес. и охр. окр.ср., 30 мар. 2015, №13 // Нац. Реестр правовых актов Респ. Беларусь.– 2015. – 8/29808.
15. Будников, Г.К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных экосистем. / Г.К. Будников // Соровский образовательный журнал. – 1998. – № 5. – С.23-29.
16. Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах / О. А. Давыдова [и др.]; под науч. ред. Е. С. Климова. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – 167 с.

Поступила 9.06.2017