

ИЗ ИСТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ЗАОХРИВАНИЯ ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ

Э. Н. Шкутов, кандидат технических наук
А. И. Митрахович, кандидат технических наук
В. П. Иванов, кандидат технических наук
 РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Проанализированы причины снижения работоспособности дренажа при наличии в грунтовых водах соединений железа, обуславливающего заохривание труб и защитно-фильтрующих материалов. Рассматриваются физико-химический процесс заохривания на гончарных и пластмассовых трубах, а также данные исследований на опытно-производственных участках дренажа в различных почвенно-грунтовых условиях за десятилетия эксплуатации. Отмечаются некоторые мероприятия, замедляющие процесс заохривания, в частности применение органических фильтров, в том числе соломенных. Приводятся данные по снижению эффективности дренажа за счет заохривания до 50 % от суммы всех причин. Установлена степень опасности заохривания от pH и содержания Fe^{2+} в грунтовых водах. При изысканиях на объектах под реконструкцию рекомендуется тщательно изучать почвенно-грунтовые условия и содержание в воде Fe^{2+} , чтобы обоснованно принять решение по способу осушения дренажем или открытой сетью.

Ключевые слова: заохривание дренажа, обезжелезивание грунтовых вод, степень опасности заохривания, кольматация защитно-фильтрующих материалов, заиливание, гончарные и пластмассовые трубы.

Abstract

E. N. Shkutov, A. I. Mitrakhovich, V. P. Ivanov
**FROM THE HISTORY OF RESEARCHS OF DRAINAGE
PIPE DRYING PROCESSES**

The reasons for the decrease in drainage performance in the presence of iron compounds in groundwater, which cause the drying of pipes and protective and filtering materials, are analyzed. The physicochemical process of arching on pottery and plastic pipes and the data of studies at pilot production sites of drainage in various soil and soil conditions for more than ten years of operation are presented. There are some measures that slow down the process of suffocation, in particular, the use of organic filters, including straw filters. Data are given on the decrease in the efficiency of drainage due to the accumulation of up to 50 % of the sum of all causes. The degree of risk of exposure to pH and contents Fe^{2+} in groundwater. It is recommended to carefully study the soil and soil conditions and the content of Fe^{2+} in the water when surveying at sites for reconstruction in order to make an informed decision on the method of drainage or open network.

Keywords: drainage deironing, groundwater deironing, degree of danger of drainage, colmatation of protective and filtering materials, siltation, pottery and plastic pipes.

Еще с начала 1960-х годов, когда началась эпоха широкого развития мелиорации в Беларуси и других регионах Советского Союза, одним из спорных и сложных вопросов проектирования и строительства закрытого трубчатого дренажа является предотвращение его заохривания. Учеными предлагался ряд способов, предусматривающих снижение негативного влияния этого явления на работоспособность дренажа, однако до сих пор нет общепризнанного способа, надежно исключающего заохривание дрен [1, 2].

Охра в дренажных трубах – это весьма опасное образование, так как с течением вре-

мени из первоначальной аморфной массы она кристаллизуется в вещество с очень твердой структурой, с трудом поддающейся удалению [3]. Для предотвращения отложения охры применяются различные способы – агромелиоративные, агротехнические и химические. Например, для улучшения аэрации осушаемой толщи почвогрунтов и окисления закисных соединений железа в грунтовых водах до поступления их в дрены рекомендуется проводить глубокое рыхление [2–4]. Поскольку реакция почвенного раствора является кислотно-щелочным барьером для перехода закисного железа в окисное, предотвращающим

поступление Fe^{2+} в осушительную сеть, проводят известкование повышенными дозами мелиоранта [3]. Частично повысить аэрацию закрытого дренажа можно и путем объемных засыпок траншей из гравия, шлака, песка, щебенки и другими материалами, которые обеспечивают поступление воздуха в дрены. При этом охра в значительном количестве откладывается в фильтрующей засыпке, что создает условия для поступления в дрены воды с пониженным содержанием железа. Однако в результате этого процесса может увеличиться закупорка засыпки соединениями железа, что ухудшает работу дренажа.

Известен также метод обезжелезивания подземных (грунтовых) вод, применяемый в системе водоснабжения *Verivox* (ФРГ). Суть его заключается в насыщении грунтовой воды кислородом через систему скважин, что обеспечивает окисление подвижных закисных соединений железа в почве. Этот метод был апробирован и в системе водоснабжения Беларуси, но практического применения не нашел, так как он требует всестороннего тщательного изучения.

Украинскими исследователями была проведена серия экспериментальных полевых и лабораторных исследований на двух осушительных системах в Волынской области (зоне Западного Полесья Украины) по изучению «принудительной» аэрации химического состава дренажных вод и определению эффективности этого мелиоративного приема в борьбе с заохриванием дрен [5].

Первый объект – осушительная система на р. Цирь, расположенная в Припятском аккумулятивном районе (осушение участка проведено в 1987 г.); почвы там дерновые глеевые супесчаные. Второй объект располагался в переходной к лесной зоне, где почвы дерновые глеевые связнопесчаные, дерново-подзолистые, сильнооглеенные, связно-песчаные и супесчаные. Осушение второго участка проведено в 1985 г., устроен закрытый гончарный дренаж с междренним расстоянием 10 и 20 м, глубиной 1,1–1,2 м.

Для установления влияния аэрации на качество дренажных вод их насыщали кислородом из кислородных баллонов высокого давления, которые гибкими экранированными

шлангами подсоединяли к смотровым колодцам коллекторов. Подачу кислорода осуществляли под давлением 1,5 и 3 МПа. Длительность насыщения дренажных вод – 3, 5 и 10 мин. До и после насыщения кислородом проводили отбор проб воды с определением в них содержания SO_4^{2-} , N_3^- , N_2^- , NH_4 .

Исследования показали, что длительность и интенсивность насыщения кислородом существенно повлияли на химический состав дренажных вод, изменения происходили как в катионной, так и в анионной группах: содержание катионов железа, кальция, магния и особенно натрия и калия снизилось в 2–4 раза; одновременно несколько возросло содержание углекислого газа и кислорода, нитратных и аммиачных форм азота.

Однако указанные перемены в большей степени негативны, чем позитивны, поскольку уменьшение концентрации щелочных, щелочноземельных элементов и железа обусловлено их осаждением после аэрации в полости дрены. С течением времени этот процесс может привести к заполнению осадками внутренней полости коллекторов, снижению их пропускной способности и выходу из строя. Отметим, что при этом на 40–50 % повысилась и агрессивность дренажных вод. Накопление CO_2 в большей мере наблюдалось на дерново-глеевых супесчаных почвах, где содержание органических веществ в дренажных водах было выше. Ухудшились показатели санитарного состояния дренажных вод. Так, количество аммиачного азота возросло более чем в 10 раз и составило 1,44 мг/л, что превысило ПДК более чем в 3 раза.

Итак, обобщая результаты вышеназванных исследований, можно заключить, что проведенная аэрация дренажных вод с использованием кислорода весьма активно влияет на их химический состав, приводя к ухудшению качества воды и интенсификации заохривания дренажа. К тому же стоимость мероприятия довольно высока. Поэтому внедрение этого мелиоративного приема в производство представляется недостаточно экологически обоснованным и экономически оправданным.

Статистика причин выхода из строя дренажных систем показывает, что в среднем 66 % случаев закупорки дренажа вызваны ми-

неральными отложениями, чаще всего песчаными, 30 % – заохриванием дренажных труб, 4 % – прочими причинами (например, пробками из корней и др.).

В целом название процесса заохривания довольно условно, так как смесь пород и веществ, оседающая в защитно-фильтрующем материале (ЗФМ) и трубах дренажа, имеет сложный состав, в который, согласно [6], входят: 50–80 % $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \cdot \text{H}_2\text{O}$; 11–12,5 % P_2O_5 ; 2–3 % CaO ; 0,1–0,2 % MgO ; 0,1–0,2 % Al_2O_3 ; 0,01–0,02 % MnO и 15–20 % органического вещества. В связи с этим далее под охрой будем иметь в виду именно такой состав.

Образование охры происходит в ходе химических и биологических процессов окисления закисных соединений в грунтовой воде. Как показывает мировая практика, заилиение грунтом на минеральных почвах составляет, как правило, около 79 %, заохривание – 15 %. На торфяно-болотных почвах заилиение минеральными наносами происходит в 43 % случаев раскопок, а в 56 % обусловлено заохриванием.

Можно выделить три варианта материалов, которые выводят дренаж из строя:

1) частицы почвогрунтов, в которые заложены дренажные трубы, кольматирующие ЗФМ и заполняющие внутренние полости дренажных труб; слишком широкие щели на стыках керамического дренажа либо повреждения ЗФМ или неправильно подобранные виды нетканого холста, примененного для защитно-фильтрующей обмотки;

2) железистые отложения, выпавшие в осадок из грунтовых вод, как и частицы мелкозёма, оседающие в трубах и накапливающиеся в ЗФМ, уменьшающие водоприемную способность дренажа и проводимость труб. В нашей практике также встречались случаи полного отключения дренажа из-за покрытия стенок дренажных трубок снаружи и внутри пленкой железистых отложений, перекрывающей водоприемные отверстия – при минимальном перекрытии сечения трубок отложениями;

3) комбинация 1-го и 2-го вариантов, когда происходит одновременное заилиение и заохривание дренажа и ЗФМ. Это наиболее благоприятный вариант, поскольку охра цементирует частицы грунта наносов и с течением времени придает отложениям проч-

ность бетона – они становятся плотными, водостойкими и устойчивыми к химическим воздействиям, которые в других случаях привели бы к растворению железа и его выносу из дренажных труб. На рис. 1–4 представлены примеры заохривания образцов дренажных труб, отобранных в 2024 г. на опытном участке Полесской опытной мелиоративной станции земледелия и луговодства (участок построен в 2012 г. в Лунинецком р-не Брестской обл.).

На рис. 1 желтая стрелка указывает на верхнюю часть дрены, чаще не заполненную водой, зону менее интенсивного заилиения и заохривания. В частности, в данном случае в качестве защитно-фильтрующего материала использовано геотекстильное полотно из полипропиленовых волокон *Tupar*® SF (Тайпар-27) производства американской фирмы *DuPont*.

На рис. 2 показан пример заохривания с заилиением внутренней полости дрены № 103 – в месте соединения с устьевой трубой, которая была заглублена под средний уровень воды в канале. Массовая концентрация железа в грунтовой воде – 3,4 мг/дм³, в канале – 9,46 мг/дм³.

На рис. 3 – осадки песчано-охристых отложений в дрене № 110.

На рис. 4 показаны заилиение и заохривание дрены № 111, находящейся в 150 м от устья; ЗФМ – полотно нетканое, иглопробивное, из полипропиленовых волокон ПНМ-ПЭВ-И-130 (производство ОАО «Пинема», г. Пинск).

На рис. 5 показаны песчано-охристые отложения глубиной слоя около 4 см (обследование проводилось в августе 2024 г.). Наносы пока не затвердели; консистенция отложений сравнима с пластилином.



Рис. 1. Внутренняя полость изъятых образцов дренажной трубы дрены № 109



Рис. 2. Заохривание с заилением внутренней полости дрены № 103



Рис. 3. Осадки песчано-охристых отложений в лотке дренажного устья дрены № 110



Рис. 4. Заиление и заохривание дрены № 111



Рис. 5. Типичные песчано-охристые отложения в устьевом лотке крупным планом

Нормативы разрешают осушение дренажем, если концентрация двухвалентного железа не менее 8 мг/л, и это предписание проверено многолетним производственным опытом. При концентрации 8–20 мг/л допустимо осушение дренажем в случае применения специальных мероприятий (увеличения уклона, известкования, рыхления и т. д.). При содержании закисного железа более 20 мг/л рекомендуется применять осушение открытой сетью.

Однако некоторые авторы отмечают, что закупорка фильтров и насадок систем капельного орошения наблюдается уже при содержании соединений закисного железа 0,4–0,8 мг/л и рН воды 4–7,2. Закупорка трубопроводов с водой наблюдалась даже и при концентрации железа всего от 0,2 до 0,3 мг/л.

Обычно содержание железа в дренажных отложениях возрастает от истока к устью. Наибольшее скопление железистых отложений отмечается у стыков керамических трубок и в местах впадения дрен в коллекторы. В пласт-

массовых трубках железо в виде охристых отложений распределено по длине трубок более равномерно.

Мероприятия по производству ремонтных/эксплуатационных работ или реконструкции эффективны для борьбы с заохриванием и обеспечением работоспособности дренажа.

Поддержание действующих мелиоративных систем в работоспособном состоянии дает возможность объективно оценить в ходе изысканий масштабы и интенсивность заохривания в работавшей сети, что, в свою очередь, будет способствовать принятию верных решений по восстановлению и долговременному поддержанию оптимального функционирования дренажа без проведения дорогостоящих химических анализов. На это необходимо обратить особое внимание при дальнейшей разработке нормативов.

Основным условием возможного заохривания дренажа считается повышение содержания солей закисного железа в почвен-

но-грунтовых водах, которое тесно связано с физико-химическими условиями окружающей среды: количество двухвалентного железа подвержено сезонным колебаниям.

Т. В. Беляевой обобщены результаты ряда отечественных и зарубежных исследований [7] относительно степени опасности заохривания дренажа в зависимости от pH грунтовых вод и содержания Fe^{2+} (табл. 1).

Таблица 1. Соотношение содержания в воде Fe^{2+} и pH с риском заохривания дренажа [7]

Содержание Fe^{2+} , мг/л	pH	Степень опасности заохривания дренажа
≤ 3	–	Отсутствует или незначительна
3–6	$> 5,5$	Слабая
6–8	< 7	Средняя
8–14	> 7	Высокая
> 14	> 7	Очень высокая

Таким образом, отечественные нормативы, согласно которым дренаж допустимо проектировать до 8 мг/л Fe^{2+} , близки к зарубежным по оценке угроз дренажу от заохривания.

С начала 1980-х гг. Т. В. Беляевой и Е. Г. Сапожниковым под руководством академика А. И. Мурашко в Институте мелиорации и водного хозяйства проводились исследования физико-химических процессов образования заохривания и способов борьбы с ним: изучалось влияние заохривания на пластмассовый дренаж, который в те годы начал широко внедряться в производство. Было отмечено, что органические вещества образуют с Fe^{2+} комплексные соединения, препятствующие его выпадению в осадок, и оказывают таким образом влияние на содержание этого железа в грунтовых водах. Это положение стало основой для разработки способов борьбы с заохриванием дренажа, направленных на поддержание железа в воде в закисной форме до выноса его из дрен.

В зоне укладки дренажных труб возможность химического окисления соединений закисного железа в грунтах и воде весьма вероятна. Однако не следует категорически отрицать такой метод защиты, как применение ингибиторов, положительный эффект от действия которых отмечался многими исследователями [4]. Отметим, что некоторые ученые

указывали на неэффективность их действия [8, 9]. Эти разногласия не позволяли четко установить преимущества и недостатки тех или иных способов защиты дренажа из-за различных условий его работы [6].

Для комплексного изучения процессов заохривания дренажа и эффективности приемов по его предотвращению в конце 1970-х – начале 1980 гг. были организованы полевые исследования на опытно-производственном участке дренажа «Судобль» экспериментальной базы «Заречье» Смоленичского р-на Минской обл.

Закрытая сеть участка выполнена из 40 одиночных полиэтиленовых и гончарных дрен длиной 100–120 м, впадающих в открытые каналы. Диаметры гончарных дрен – 50 и 75 мм, пластмассовых – 50 мм. Расстояние между дренами 15 м, уклоны 0,003, почвы торфяно-глеевые, слабокислые, тип водного питания – атмосферно-грунтовой.

Максимальное содержание Fe^{2+} в почвенно-грунтовых водах зимой и осенью 1976–1977 гг. достигало 40 мг/л, минимальное наблюдалось летом и составляло 0,5 мг/л. Величина окислительно-восстановительного потенциала в эти же периоды – 80 и 320 мВ соответственно. В качестве ЗФМ дренажа применены стеклохолст, полиэтиленхолст, соединительные пластмассовые детали, а в качестве ингибиторов – смесь гипса и извести в соотношении 2 : 1, гранулированный торф с добавками суперфосфата и доломитовой муки.

Через 6 лет эксплуатации дренажа на объекте были проведены раскопки в трех точках (истоке, середине дрен и в устье) и определена степень заохривания: раскопки показали, что этот процесс замедляют ингибиторы (вышеуказанная смесь). На дренах диаметром 75 и 50 мм высота слоя охры составляла 3–4 мм по сравнению с контролем, где высота слоя заохривания была 14 мм.

На производственных участках «Трубенки» и «Приборье» экспериментальной базы «Заречье» и на участке «Заря» Гомельской обл. (площадью около 30 га каждый) апробировались материалы органического происхождения в качестве защитных от заохривания: пшеничная солома и льняная костра; они укладывались сплошной полосой на дренажи толщиной 15 и 8 см соответственно.

Результаты раскопок дренажей на данных участках показали замедление (в 2–6 раз) процесса заохривания в ходе применения органических фильтров по сравнению с контролем – полиэтиленхолстом и стеклохолстом. Так, через 6 лет на участке «Трубенки» на дренаже диаметром 75 мм с присыпкой из соломы заохривания не наблюдалось, на контроле слой охры был толщиной 1,5 мм. На участке «Приборье» слой охры с соломой составлял 0,5 мм, на участке «Заря», где использовали солому, заохривания не было.

По поводу применения указанных фильтров существуют различные мнения вследствие критерия их долговечности. Например, учеными США отмечено, что за 9 лет эксплуатации древесные опилки разлагаются мало; в Дании такие же фильтры вышли из строя в первые 2 года; по данным польских ученых, за 3 года работы соломенный фильтр не разлагается и дренажи не заохриваются [10–12].

Исследования, проведенные учеными Института мелиорации на перечисленных участках дренажа, показали, что фильтры из соломы и льняной тресты как за 3 года, так и

за 9 лет эксплуатации имели слабую степень разложения. Они уплотнились и образовали вокруг дренажных труб сплошные оболочки (скелетный фильтр) из соломы (костры) и частиц грунта. Сохранность фильтров, по-видимому, объясняется тем, что они находились постоянно в зоне увлажнения.

Таким образом, установлено, что в гидрологических условиях хорошо увлажненных объектов с повышенным содержанием железа возможно применение органических фильтров.

Широкое применение с 1970-х гг. пластмассового дренажа потребовало проведения исследований процессов заохривания полимерных труб. При изучении работоспособности данного дренажа анализировались и процессы его заохривания на опытных участках с повышенным содержанием Fe^{2+} в почвенно-грунтовых водах. В результате было выявлено, что пластмассовый дренаж заохривается несколько более интенсивно, чем гончарный. В табл. 2 приведены данные, полученные на указанных опытно-производственных участках с высоким качеством строительства дренажа.

Таблица 2. Заохривание гончарных и пластмассовых труб

Дренажные трубы	Способ защиты	Высота слоя охры при сроке эксплуатации, мм			
		Годы			
		3	6	7	9
Участок «Трубенки»					
Гончарные, $d = 50$ мм	Стеклохолст без ингибиторов	–	–	30	–
ПВП гофрированные, $d = 50$ мм	Стеклохолст без ингибиторов	–	–	20	–
Участок «Судобль»					
Гончарные, $d = 50$ мм	Муфты + ингибитор (гипс + известь)	–	2	–	–
Спирально-навитые из ПВХ, $d = 50$ мм	ингибитор (гипс + известь)	–	2	–	–
Участок «Заря»					
Полиэтиленовые гофрированные, $d = 50$ мм	Стеклохолст без ингибиторов	6	–	–	–
Гончарные, $d = 50$ мм	Стеклохолст без ингибиторов	5	–	–	–
Полиэтиленовые гофрированные, $d = 50$ мм	Стеклохолст, солома	–	–	–	чисто
Гончарные, $d = 50$ мм	Стеклохолст без ингибиторов	–	–	–	чисто

Качество строительства не может не воздействовать как в целом на эффективность работы дренажа, так и на процесс его заохривания. Это влияние можно оценить по результатам раскопок дрен на производственном участке «Светлый путь» Молодечненского р-на Минской обл. Так, было вскрыто более 2 км дренажа, и практически на всей длине коллектора (около 500 м) обнаружен ряд строительных дефектов, основными из которых являлись отклонения ширины стыковых зазоров от нормативной. Допустимые зазоры (1–2 мм) были лишь на 50 % стыков.

Была зафиксирована прямая зависимость между высотой слоя охры (наилка) и шириной стыкового зазора. При ширине стыков 7–10 мм (16 % обследованных) высота наилка достигала 68 мм. На контрольном участке (без ингибиторов) ширина зазоров не превышала 2 мм, максимальная высота наилка была не более 11–12 мм.

Необходимо также оценить степень опасности заохривания дренажа на местности при изысканиях под новое строительство и реконструкцию либо при планировании работ по промывке дренажа (подборе оборудования, режимов и т. д.).

Практика противодействия угрозам заохривания дренажа при выполнении проектно-изыскательских и эксплуатационных работ показывает, что визуальное выявление локаций мест скопления закисных соединений довольно несложно: достаточно при обследованиях зафиксировать как наличие ржавой воды в каналах и замкнутых водоемах (копанях, за-

топленных участках болот), ортзандовых горизонтов, так и выносы охры из устьев дренажа. Однако оценить степень угроз заохривания – это весьма затратная и неоднозначная задача.

Выявить какой-либо маркер, который легко определяется и коррелирует со степенью угрозы скорого выведения из строя дренажных линий или хотя бы среднегодовой концентрацией Fe^{2+} , до настоящего времени не удалось.

Значительно влияет на заохривание (до 90 % на наших опытных участках и других обследованных объектах) микрофауна, поэтому концентрация закисных железистых соединений даже в одной точке объекта мелиорации зависит от параметров среды до и в момент отбора проб. В грунтовой воде наблюдаются сезонные изменения в концентрации закисных железистых соединений, при этом надо учитывать особенности конкретного года, в том числе оптимальность условий для жизнедеятельности железобактерий. Водность года, влияющая на величину дренажного стока, также может оказывать действие на концентрацию Fe^{2+} . Так что непросто определить, где именно (по площади) и когда (по времени года) проводить при изысканиях отбор образцов на содержание в грунтовой воде Fe^{2+} , чтобы оценить целесообразность осушения территории дренажем или открытой сетью.

До настоящего времени данная задача решалась весьма приближенно. Подтверждением этому служат денежные затраты и усилия мелиораторов в борьбе с заохриванием дренажа при эксплуатационных работах.

Выводы

1. Из обсуждения результатов исследований по применению промывки дрен следует, что в ходе данного мероприятия, а также при реконструкции дренажа необходимо определять техническое состояние коллекторов и дрен с учетом содержания Fe^{2+} в почвенно-грунтовых водах.

2. Способ уменьшения процессов заохривания дренажа путем использования в каче-

стве фильтров материалов органического происхождения (соломы, льняной костры и др.) дает положительный эффект, но его технологичность невысока.

3. Степень опасности заохривания дренажа зависит как от содержания Fe^{2+} , так и от pH. При определении вида сети для осушения следует учитывать оба показателя.

Библиографический список

1. Зайдельман, Р. Ф. Подзоло- и глееобразование / Р. Ф. Зайдельман. – Москва : Наука, 1974. – 204 с.
2. Назаренко, И. Н. Окультуривание дерново-подзолистых оглеенных почв / И. Н. Назаренко. – Москва : Наука, 1981. – 168 с.

3. Кунце, Г. Загрязнение почвы железом и заохривание труб / Г. Кунце : пер. с англ. А. Ю. Конкина; под ред. Ф. Р. Зайдельмана. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 103 с.
4. Мелиорация и водное хозяйство : справочник / Б. С. Маслов [и др.] ; ред.: Б. С. Маслов [и др.] ; сост.: Е. И. Кормыш, И. С. Никитин, Е. П. Панов. – Москва : Агропромиздат, 1985. – Т. 3. Осушение. – 447 с.
5. Зузук, Ф. В. Осушені землі Волинської області та їх охорона : монографія / Ф. В. Зузук, Л. К. Колошко, З. К. Карпюк. – Луцьк : Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2012. – 294 с.
6. Маслов, Б. С. Заиление дренажей железистыми отложениями: природа и способы борьбы / Б. С. Маслов // Гидротехника и мелиорация. – 1972. – № 10. – С. 34–42.
7. Беляева, Т. В. Заохривание дренажа на торфяных почвах и меры борьбы с ним : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / Беляева Татьяна Викторовна ; БелНИИ мелиорации и вод. хоз-ва. – Минск, 1985. – 23 с.
8. Зонн, С. В. Железо в почве (генетические и географические аспекты) / С. В. Зонн. – Москва : Наука, 1982. – 206 с.
9. Дюшофур, Ф. Основы почвоведения. Эволюция почв (опыт изучения динамики почвообразования) / Ф. Дюшофур ; пер. с фр. М. И. Герасимовой. – Москва : Прогресс, 1970. – 591 с.
10. Ford, H. Methods of drain installation to control sediment and chemical deposits in Florida wetlands / H. Ford, B. Beville // American Society of Agricultural and Biological Engineers. – 1974. – Vol. 3. Drainage for agriculture. – P. 70–111.
11. Andersen, S. Forsøg og forsøg på okkeraldring i Danmark / S. Andersen // Nord Jordbrugs Fors. – 1974. – № 3. – P. 259–261.
12. Śniadowski, Z. Zamulenie rurociągów drenarskich i sposoby ich zabezpieczenia / Z. Śniadowski // Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie. – 1970. – № 11. – S. 251–253.

Поступила 15 апреля 2025 г.