

ISSN 2070-4828

МЕЛИОРАЦИЯ

Научный журнал

№ 3(89)

Основан в 1951 году
Выходит 4 раза в год

Июль – сентябрь, 2019



Минск, 2019

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 411

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт мелиорации»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

член-корр. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф. А. П. Лихацевич

РЕДКОЛЛЕГИЯ:

д-р с.-х. наук, проф. **А. С. Мееровский** (зам. гл. редактора)

д-р. техн. наук, проф. **В. Н. Кондратьев**

д-р с.-х. наук, проф. **Ю. А. Мажайский**

д-р техн. наук, проф. **Э. И. Михневич**

д-р с.-х. наук, проф. **Н. Н. Семененко**

д-р с.-х. наук **В. И. Желязко**

д-р с.-х. наук **П. Ф. Тиво**

канд. техн. наук **Н. К. Вахонин**

канд. техн. наук **А. С. Анженков**

канд. техн. наук **Э. Н. Шкутов**

Журнал рецензируется.

Журнал включен в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований.

Журнал включен в Перечень научных изданий ВАК Российской Федерации для опубликования результатов диссертационных исследований (распоряжение Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 февраля 2019 г. № 21-р) по следующим группам научных специальностей:

06.01.02 – мелиорация, рекультивация и охрана земель;

06.01.06 – луговое хозяйство и лекарственные эфирно-масличные культуры

Журнал включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Статьи и отдельные выдержки из журнала могут цитироваться при условии указания первоисточника.

Редакция не несет ответственности за возможные неточности по вине авторов.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора. Рукописи не возвращаются.

Фотоматериалы взяты из архива РУП «Институт мелиорации» и предоставлены авторами статей.

Журнал «МЕЛИОРАЦИЯ»

Подписной индекс: **74856** — для индивидуальных подписчиков

748562 — для предприятий и организаций

Подписку можно оформить во всех отделениях связи.

Редактор, корректор **М. Ю. Мошкова**

Компьютерная верстка, дизайн **М. Ю. Мошкова**

Перевод **М. Ю. Мошкова**

Подписано к печати 25.09.2019 г. Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд. л. 6,29. Усл. печ. л. 11,625. Заказ 360. Тираж 100 экз.

Адрес редакции: 220040, г. Минск, ул. Некрасова, 39-2
тел. (017) 331-49-03

E-mail: info@niimel.basnet.by <http://niimel.by>

Отпечатано РУП «Информационно-вычислительный центр Министерства финансов»
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 2/41 от 29.01.2014.

Содержание Contents

Мелиорация • Land improvement



А. И. Митрахович, А. П. Майорчик, Н. М. Авраменко
Дренажные скважины как источник водообеспечения оросительной техники в зоне Белорусского Полесья
A. I. Mitrakhovich, A. P. Mayorchik, N. M. Avramenko
Drainage wells as a source of water supply for irrigation equipment in the Belarusian Polesie area

5



Н. Н. Погодин, А. С. Анженков, В. А. Болбышко
Теоретическое исследование водопропускной способности дренажных трубопроводов при гидродинамическом способе очистки
N. N. Pogodin, A. S. Anzhenkov, V. A. Bolbyshko
Theoretical study of water capacity of drainage pipelines at hydrodynamic cleaning method

11



В. И. Селезнев, И. Ч. Казмирук, Л. Н. Юшин, С. С. Копаченя, Е. С. Мороз
Изучение условий работы пристенного дренажа брызгальных бассейнов
V. I. Seleznev, I. Ch. Kazmiruk, L. N. Yushin, S. S. Kopachenya, E. S. Moroz
Study of working conditions for side drainage of spray ponds

20



А. В. Петроченко
Классификация паводков и систематизация противопаводковых мероприятий
A. V. Petrochenko
Classification of high water and high water protection measures systematization

30



Э. Н. Шкутов, В. П. Иванов
Метод оценки производительности насосных агрегатов польдерных насосных станций с сифонными водосбросами
E. N. Shkutov, V. P. Ivanov
Method for estimating the performance of pump units of polder pumping stations with siphon spillways

38

Земледелие и растениеводство • Agriculture and plant growing



Т. Ф. Маховикова, С. Н. Сивцева, Л. П. Рыбашлыкова
Интродукция нетрадиционных видов масличных культур в аридных условиях
T. Maschovikova, S. Sivceva, L. Rybashlykova
The introduction of nonconventional oil crops in arid conditions

48



А. В. Сорока, Н. Н. Костюченко

Сравнительная оценка продуктивности пастбищных травостоев на минеральных почвах Белорусского Полесья

53

A. V. Soroka, N. N. Kostyuchenko

Comparative assessment of the productivity of pasture grass stands on the mineral soils of Belarusian Polesye

Экология ● Ecology



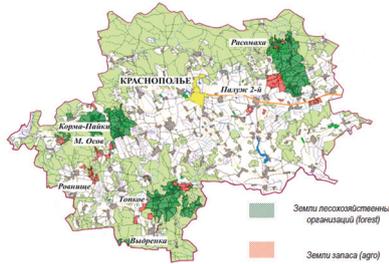
Ю. А. Мажайский, О. В. Черникова, В. А. Игнатенко

Агрохимическая мелиорация техногенно загрязненного оподзоленного чернозема

60

Yu. A. Mazhayskiy, O. V. Chernikova, V. A. Ignatenok

Agrochemical reclamation of technologically contaminated podzolized chernozem



О. А. Мерзлова

Инвентаризация радиационно опасных земель – подготовительный этап их реабилитации (на примере Могилевской области)

67

V. A. Miarzlova

Inventory of land posing a radiation hazard. The preparatory phase of rehabilitation (on the example of Mogilev region)



Э. И. Михневич, Е. А. Василевская

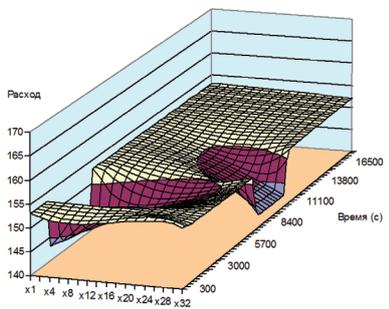
Анализ действующей системы нормирования сбросов сточных вод с городских очистных сооружений в водные объекты и методические подходы к ее совершенствованию

76

E. I. Mikhnevich, E. A. Vasileuskaya

Analysis of the current system of normalization of sewage discharges from urban wastewater treatment plants into water bodies and methodological approaches to its improvement

Обмен опытом ● Experience Exchange



Ш. Х. Рахимов, А. Ж. Сейтов, М. Р. Шербаев, Д. Жумамурадов, Ф. Ж. Дусиёров

Структура базы данных и программные модули для моделирования управления водными ресурсами каскада насосных станций Каршинского магистрального канала

85

Sh. Rakhimov, A. Seytov, M. Sherbaev, D. Zhumamuradov, F. Dusiyorov

A database structure and software modules for modeling of water resources management of the cascade of pumping stations of the Karshi main canal

Наши юбиляры ● Our Jubilees

Раиса Тадеушевна Пастушок (к 50-летию со дня рождения)

92

Чтобы помнили ● To be remembered

Николай Александрович Тюленев – выдающийся исследователь в области культуры болот (к 130-летию со дня рождения)

93

• МЕЛИОРАЦИЯ •

УДК 626.862.4

ДРЕНАЖНЫЕ СКВАЖИНЫ КАК ИСТОЧНИК ВОДОБЕСПЕЧЕНИЯ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЗОНЕ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

А. И. Митрахович¹, кандидат технических наук, доцент

А. П. Майорчик², кандидат технических наук, доцент

Н. М. Авраменко³, кандидат технических наук

¹РУП «Институт мелиорации»,

²Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

³Государственное предприятие «Полесская опытная станция»,
п. Полесский, Луннинецкий район, Брестская область, Беларусь

Аннотация

В статье рассматриваются актуальные для сельскохозяйственного производства вопросы, связанные с негативным влиянием на него погодных условий: участвовавшими засушливыми и влажными периодами. Предлагаются мероприятия, способные в некоторой степени сгладить эти ситуации, в частности за счет более широкого применения орошения на базе дренажных скважин и их возможности по обеспечению подземными водами оросительной техники. Данные получены на основании проведенных БелНИИМВиХ исследований эффективности работы вертикального дренажа на опытно-производственных участках ПОМС Лунинецкого р-на и объекте «Осиповка» Малоритского р-на Брестской обл. общей площадью 1320 га в 1970–1990-х гг. Отмечается, что дренажные скважины следует рассматривать как гарантированный источник водообеспечения оросительной техники подземными водами в нужных объемах в определенных гидрологических условиях.

Ключевые слова: дренажная скважина, мелиоративная система, дождевальная техника, фильтр скважины, коэффициент фильтрации, удельный дебит, орошение, уровни грунтовых вод, гравийная обсыпка, сельхозугодья.

Abstract

A. I. Mitrakhovich, A. P. Mayorchik, N. M. Avramenko

DRAINAGE WELLS AS A SOURCE OF WATER SUPPLY FOR IRRIGATION EQUIPMENT IN THE BELARUSIAN POLESIE AREA

The article discusses issues relevant to agricultural production related to the negative impact of weather conditions on it: more frequent dry and wet periods. Measures are proposed that can somewhat mitigate these situations, in particular due to the wider use of irrigation based on drainage wells and their ability to provide groundwater for irrigation equipment. The data was obtained from BelNIIMiVH, which conducted studies of the effectiveness of vertical drainage in the pilot production sites of POMS of the Luninetsky district and the Osipovka facility in the Maloritsky district of the Brest region with a total area of 1320 ha in the 1970–1990s. It is noted that drainage wells should be considered as a guaranteed source of water supply for irrigation equipment with groundwater in the required volumes in certain hydrological conditions.

Keywords: drainage well, reclamation system, sprinkling equipment, well filter, filtration coefficient, specific flow rate, irrigation, groundwater levels, gravel sprinkling, farmland.

Введение

В последние годы все чаще стали повторяться погодные катаклизмы: засухи и наводнения, которые негативно сказываются на сельскохозяйственном производстве. В таких условиях

требуется разработка новых и совершенствование существующих конструкций мелиоративных систем с учетом возможности их многофункционального назначения и рационального

использования водных ресурсов. С засухой бороться трудно. Неэффективными становятся и осушительно-увлажнительные системы с двухсторонним регулированием водного режима, базирующиеся на использовании местного стока: как правило, запасов воды в каналах в засушливые периоды не хватает для поддержания требуемого уровня грунтовых вод на сельхозугодиях, и многие водоприемники пересыхают. В неустойчивых погодных условиях с превалированием засушливых периодов орошение сельхозугодий в некоторых районах республики следует рассматривать как один из способов уменьшения негативных последствий засухи в ряде отраслей сельскохозяйственного производства [1]. Одной из основных проблем орошения является обеспечение дождевальной техники водой. Гарантированным ее источником в условиях Полесья являются грунтовые и подземные воды с глубины 1,5–3 м от поверхности, которые каптируются

Результаты исследований и их обсуждение

Главным показателем эффективной работы скважины является ее дебит (расход), который зависит от гидрогеологических условий, способа бурения, конструкции фильтра, состава гравийной обсыпки и других факторов. По химическому составу вода из скважин опытных участков гидрокарбонатно-натриевая с общим количеством растворенных солей 0,5 г/л, без агрессивных кислот. Она пригодна для орошения сельскохозяйственных культур без ограничений.

Гидрогеологические условия опытного участка на ПОМС являются типичными для многих районов Белорусского Полесья. С поверхности до глубины 0,9–1,2 м участок представлен мелкозернистыми торфяниками, подстилаемыми современными и древними аллювиальными образованиями мощностью 1–2 и 5–7 м соответственно.

Ниже залегают пески пылеватые, мелко- и среднезернистые с прослоями крупнозернистых песков. Встречаются также прослои глины и суглинка на глубине 50–53 м, повсеместно залегают меловые отложения. Средняя мощность водоносного горизонта – 45 м, средний коэффициент фильтрации – 15–17 м/сут., водопроводимость – 570–800 м²/сут.

(забираются) водозаборными дренажными скважинами. На территории Белорусского Полесья естественные (возобновляемые) ресурсы пресных подземных вод составляют 83,3–92,5 м³/с. По всей Полесской низменности они более чем в 20 раз превышают их современное потребление в народном хозяйстве. В сельскохозяйственном производстве подземные воды на орошение практически не используются.

Скважины являются основным элементом мелиоративной системы вертикального дренажа, эффективность действия которой установлена на опытно-производственных осушительно-оросительных системах Полесской опытно-мелиоративной станции (ПОМС) на площади 1000 га и объекте «Осиповка» Малоритского р-на Брестской обл. на площади 320 га [2, 3]. Принцип работы этих систем заключается в понижении уровня грунтовых вод путем откачки воды из скважин и использовании подземных вод на орошение.

Участок на ПОМС строился в два этапа (две очереди). Основные характеристики дренажных скважин 1-го этапа приведены в табл. 1. Все они были пробурены станками УКС-22М и имели диаметр 300 и 350 мм и глубину 25–45 м. Использовались фильтры скважин трех типов: щелевые, проволочные и проволочно-щелевые с гравийной обсыпкой толщиной 7,5–12 см. Дебит скважин составлял 100–250 м³/ч, удельный дебит – от 3 до 24,5 м³/ч.

Орошение участка осуществлялось дождевальными машинами «Волжанка», «Фрегат» модификации ДМ-424-90 и проводилось по двум схемам: при подаче воды к дождевальным установкам непосредственно из скважин погружными насосами и из бассейна суточного регулирования подогретой водой центробежными насосами. В скважине, которая обеспечивала работу «Волжанки», был установлен насос ЭЦВ-12-210-55, а на «Фрегате» – ЭЦВ-12-16-65. В 1979 г. на орошение было подано 27,3, в 1984 г. – 125, в 1987 г. – 132 тыс. м³ воды.

Поливная норма поддерживалась около 300 м³/га. На протяжении 1980–1982 гг. эти дождевальные машины работали стабильно. В общей сложности за 1981 г. скважина с «Фрегатом» отработала на орошение 366 ч, причем

полив производился в одну смену. За период с 25 мая по 26 августа 1981 г. «Фрегат» сделал пять полных оборотов. Скважина с «Волжанкой» отработала на орошение 112 ч. Второй «Фрегат», работавший на воде из бассейна, отработал в этом сезоне 102 ч.

В 1984 г. скважины работали в режиме орошения 695 ч. Установлено, что периодическая работа скважин на орошение незначительно сказывается на понижении УГВ в радиусе ее действия. Наблюдения показали, что сработка уровня грунтовых вод за один полив не превышала 10–15 см в радиусе 100–150 м от скважины, и через 1–2 сут. происходило почти полное его восстановление [4, 5]. Работа дождевальных машин непосредственно

от скважин значительно уменьшала расход электроэнергии. Так, на один полив «Фрегатом» из скважины израсходовано 3600 кВт·ч, на полив от стационарной оросительной насосной станции с учетом подачи воды из скважин в бассейн – 9800 кВт·ч. За оросительный период (5 поливов) экономия электроэнергии при работе одного «Фрегата» составила свыше 30 тыс. кВт·ч [6].

Скважины на 2-й очереди строительства на площади 670 га были иной конструкции, чем на первой, и бурение их велось как ударно-канатным способом станком УКС-22 диаметром 1000 мм, так и способом обратной промывки.

Характеристика дренажных скважин на второй очереди ПОМС приведены в табл. 2.

Таблица 1 – Характеристики скважин вертикального дренажа на Полесской опытно-мелиоративной станции (ПОМС, 1-й этап)

| Номер скважины | Удельный дебит, м ³ /ч | Глубина скважин, м | Суммарная длина фильтра, м | Диаметр фильтра, мм | Тип фильтра и его длина (в скобках), м |
|----------------|-----------------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|--|
| 1 | 18,3 | 47 | 31,7 | 300 | П(21,5)+Щ(10,2)* |
| 2 | 14,3 | 30 | 21,2 | 350 | П(12,2)+Щ(9,0) |
| 3 | 9,5 | 36 | 27,5 | 300 | П |
| 4 | 15,0 | 32 | 21,8 | 350 | П(11,2)+Щ(10,6) |
| 5 | 13,8 | 30,5 | 21,8 | 300 | Щ |
| 6 | 24,5 | 25 | 15,7 | 350 | П(9,7)+Щ(6,0) |
| 7 | 20,6 | 30 | 24,4 | 350 | Щ |
| 8 | 8,0 | 30 | 20,8 | 350 | П(15,0)+Щ(5,8) |
| 9 | 5,4 | 27 | 15,5 | 350 | П(14,0)+Щ(1,5) |
| 10 | 7,8 | 44 | 24,5 | 300 | П(17,4)+Щ(7,1) |
| 11 | 19,1 | 37 | 27,8 | 300 | П(20,8)+Щ(7,0) |
| 12 | 11,8 | 30 | 18,0 | 350 | П(12,0)+Щ(6,0) |

Примечание. *П – проволочный; Щ – щелевой.

Таблица 2 – Основные характеристики дренажных скважин (2-й этап)

| Номер скважины | Глубина, м | | Длина фильтра, м | | Диаметр фильтра, мм | | Площадь фильтра, м ² | | Удельный дебит, м ³ /ч |
|----------------|------------|-------------------|------------------|-------|---------------------|----------|---------------------------------|-------|-----------------------------------|
| | скважины | установки фильтра | в интервале | общая | внутренний | наружный | в интервале | общая | |
| 1 | 40 | 7,4–17,3 | 9,90 | 25,60 | 630 | 650 | 20,20 | 42,38 | <u>50</u> 500 |
| | | 18,8–28,2 | 9,40 | | 430 | 450 | 13,28 | | |
| | | 32,2–38,5 | 6,30 | | 430 | 450 | 8,90 | | |
| 2 | 35 | 7,3–16,5 | 9,20 | 22,20 | 630 | 650 | 18,77 | 37,13 | <u>35</u> 350 |
| | | 20,3–33,3 | 13,00 | | 430 | 450 | 18,36 | | |
| 3 | 35 | 5,50–11,85 | 6,35 | 18,95 | 630 | 650 | 12,96 | 32,77 | <u>40</u> 400 |
| | | 13,8–17,0 | 3,20 | | 630 | 650 | 6,53 | | |
| | | 24,4–33,8 | 9,40 | | 430 | 450 | 13,28 | | |
| 4 | 37 | 8,0–14,0 | 6,00 | 15,00 | 630 | 650 | 12,24 | 24,95 | <u>30</u> 300 |
| | | 26,0–35,0 | 9,00 | | 430 | 450 | 12,71 | | |
| 5 | 38 | 6,0–12,5 | 6,50 | 18,5 | 630 | 650 | 13,26 | 26,07 | <u>20</u> 200 |
| | | 25,0–37,0 | 12,00 | | 325 | 340 | 12,81 | | |

Примечание. В знаменателе расход скважин (м³/ч) при динамическом понижении уровня воды в скважине 10 м.

Верхняя часть фильтровой колонны глубиной до 16 м выполнена из труб диаметром 630 мм, нижняя – из труб диаметром 430 мм, что обусловлено установкой вверху нисходящих колен сифонных трубопроводов. Фильтр скважин выполнен со щелевыми отверстиями и проволоочной обмоткой, поверх которой уложена волокнисто-пористая полиэтиленовая оболочка, изготовленная в БелНИИМивХ. Ее параметры: толщина – 6 мм, масса 1 м² – 2 кг, пористость – 67–70 %, коэффициент фильтрации – 400–600 м/сут. Строительство скважины глубиной 35–40 м бригадой из трех человек осуществлялось за 8–14 дней. Скважины устанавливались в мелко- и среднезернистых песках с коэффициентом неоднородности 1,5–3,2. Гравийная обсыпка выполнялась на всю глубину скважин, для чего применялся отмытый гравий с диаметром частиц от 0,25 до 7,0 мм и коэффициентом неоднородности 8,0. Наибольший удельный дебит 50 м³/ч был достигнут у скважины 1, имевшей наибольшую площадь фильтра (42,58 м²). При динамическом понижении уровня воды в скважине 10 м и более дебит скважины изменяется от 200 до 500 м³/ч.

Сравнивая производительность скважин, построенных разными способами, можно отметить, что при строительстве способом обратной промывки удельный дебит скважин был значительно выше. По осушительному действию и возможности обеспечения водой оросительной техники одна скважина, построенная способом обратной промывки (скв. 3) может заменить

две скважины с проволоочным фильтром, построенные ударно-канатным способом (скв. 5).

Фильтры из волокнисто-пористых полиэтиленовых оболочек высокоэффективны и позволяют повысить долговечность и надежность работы скважин. Они могут применяться не только в мелиорации, но и водоснабжении, особенно в сочетании с каркасом из полиэтиленовых труб.

Еще одна система вертикального дренажа была построена на объекте «Осиповка» Малоритского района Брестской области [7].

Участок площадью 320 га имеет сложное геоморфологическое, гидрогеологическое и почвенное строение: заболоченный луг, покрытый кустарником, с обилием микропонижений. Геология участка представлена торфяником мощностью 0,3–1,0 м, подстилаемым мелкозернистым песком с прослоями торфа, супесей и суглинков мощностью 1,5–2,0 м и мелкозернистыми и пылеватými песками мощностью 13,5–35 м. В песчаной толще встречаются линзы супесей и суглинков мощностью до 2,5 м. Далее с глубины 31–32 м залегают четвертичные отложения, представленные пылеватými и мелкими песками, которые подстилаются плотными глинами мощностью 9,0–11,5 м. Ниже повсеместно залегают отложения верхнего мела. Коэффициенты фильтрации водоносной толщи по данным откачек колеблются в пределах 19–25 м/сут., а определенные по зависимости А. Хазена – 11–14 м/сут. Характеристика опытных скважин с проволоочным фильтром представлена в табл. 3.

Таблица 3 – Характеристики дренажных скважин объекта «Осиповка»

| Номер скважины | Глубина скважины, м | Диаметр фильтра, мм | Длина фильтра, м | Удельный дебит, м ³ /ч |
|----------------|---------------------|---------------------|------------------|-----------------------------------|
| 1 | 27,0 | 325 | 24,5 | 15,0 |
| 2 | 39,5 | 426 | 33,6 | 18,5 |
| 3 | 38,5 | 273 | 20,3 | 17,5 |
| 4 | 39,0 | 325 | 24,5 | 15,0 |
| 4а | 18,5 | 325 | 15,8 | 14,0 |
| 5 | 30,2 | 426 | 26,0 | 15,4 |
| 6 | 40,0 | 273 | 21,4 | 14,5 |
| 7 | 40,0 | 273 | 21,4 | 18,0 |
| 8 | 39,5 | 325 | 26,5 | 15,0 |
| 9 | 25,5 | 426 | 22,7 | 14,5 |

Строительство скважин производилось роторным способом с обратной промывкой, диаметр бурения – 1 м. Контур гравийной обсыпки составлял 35 см на всю глубину скважины. Скорость бурения таким способом значительно выше, чем ударно-канатным. Так, скважина глубиной 40 м была пробурена за 9 ч, тогда как при ударно-канатном способе – за 6–20 дней. Все скважины оборудованы проволочным фильтром на общей колонне. Дебит их достигал 200 м³/ч (удельный дебит – 14–18 м³/ч).

В результате проведенных откачек из одиночных скважин на объекте «Осиповка» было установлено, что по эффективности осушения в сложных гидрогеологических условиях они уступают действию скважин на ПОМС, но вполне способны поддерживать требуемую норму осушения на большей части участка. Действие одной скважины за сутки распространялось на площадь более 80 га, а за четверо суток – более чем на 120 га.

Орошение участка производилось дождевальными машинами «Фрегат», «Волжанка» и аппаратами «ДД-30» со стационарной оросительной сетью. При этом вода из двух скважин по закрытому трубопроводу подавалась непосредственно на «Фрегат», а «Волжанка» работала как непосредственно из скважины, так и из бассейна.

Данные по дебиту (расходу) дренажных скважин в диапазоне от 100 до 400 м³/ч при динамическом понижении уровня воды в скважине 10 м и более показали, что дренажные

скважины исследованных конструкций могут обеспечивать водой дождевальные установки такие как ПДМ-2500 с расходом 60-80 м³/ч, дождевальные машины кругового действия 360А, 320А с расходом 126-170 м³/ч, а также некоторые типы дождевальных машин с расходом от 180 до 300 м³/ч и др.

Анализ динамики понижения воды в скважинах показал, что при удельном дебите скважин более 15 м³/ч оросительные установки с центробежным насосом высотой всасывания более 5 м и расходом 40–60 м³/ч могут работать с забором воды непосредственно из скважин. По данным ОАО «Барановичипромбурвод» стоимость строительства 1 п. м. скважины диаметром 325 мм в настоящее время составляет ориентировочно 600–1000 руб., скважина глубиной 35 м будет стоить около 2800 руб. При осушении скважиной площади 30 га – стоимость 1 га составит ориентировочно 1200–1400 руб., что сопоставимо со стоимостью реконструкции 1 га дренажа.

Таким образом, в определенных гидрологических условиях строительство неглубоких высокодебитных скважин дает возможность расширить область применения оросительной техники за счет гарантированного в регионе Полесья источника их водообеспечения – подземных вод, а также позволяет повысить эффективность мелиоративных мероприятий в засушливые периоды и положительно отражается на увеличении продуктивности осушенных земель.

Выводы

1. Рассмотрены условия строительства дренажных скважин на двух осушительно-оросительных объектах с гидрогеологическими условиями, типичными для региона Полесья с высоким залеганием уровней грунтовых вод и водоносной толщей мощностью более 30 м.

2. Установлена производительность дренажных скважин в зависимости от их конструкции и способа бурения. Наиболее эффективными оказались скважины, выполненные способом обратной промывки.

3. Показаны возможности дренажных скважин по величине дебита обеспечивать оросительные установки водой в требуемом количестве на протяжении всего вегетационного периода при их работе непосредственно из скважин и через насосную станцию.

4. Приведены данные о комплексном использовании скважин при работе в режиме осушения и орошения, обеспечивающие оперативное регулирование водного режима почв.

Библиографический список

1. Митрахович, А. И. О регулировании водного режима почв на осушенных землях с учетом экстремальных погодных условий / А. И. Митрахович, Н. М. Авраменко // Мелиорация. – 2015. – № 2 (74). – С. 58-66.
2. Осушение земель вертикальным дренажем / А. И. Мурашко [и др.]. – Минск : Ураджай, 1980. – 244 с.
3. Костюкович, П. Н. Гидрогеологические основы вертикального дренажа / П. Н. Костюкович // Наука и техника. – 1979. – С. 223-250.
4. Митрахович, А. И. О производительности конструкции скважин на опытно-производственных системах вертикального дренажа в зоне Полесья / А. И. Митрахович, В. Т. Климков, А. П. Майорчик // Вода. – 2016. – № 07/08. – С. 2-3.
5. Авраменко, Н. М. Орошение культурных пастбищ подземными водами на торфянисто-глебовых почвах Полесья : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Н. М. Авраменко. – Минск : БелНИИМил, 1992. – 24 с.
6. Митрахович, А. И. Регулирование водного режима почв вертикальным дренажем / А. И. Митрахович, Н. М. Авраменко // Мелиорация переувлажненных земель : сб. науч. работ. – Минск : БелНИИМил, 2002. – Том XLIX. – С. 78-82.
7. Мурашко, А. И. Вертикальный дренаж в сложных природных условиях / А. И. Мурашко, А. И. Митрахович // Мелиорация переувлажненных земель : сб. науч. работ. – Минск : БелНИИМил, 1986. – Том XXXIV. – С. 120-127.

Поступила 20.08.2019

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДРЕНАЖНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ СПОСОБЕ ОЧИСТКИ

Н. Н. Погодин, кандидат технических наук

А. С. Анженков, кандидат технических наук

В. А. Болбышко, кандидат технических наук

*РУП «Институт мелиорации»,
г. Минск, Беларусь*

Аннотация

Проанализированы скоростные и расходные показатели потока воды (пульпы) в дренажных трубопроводах при различных диаметрах и уклонах. Определены скоростной режим для транспорта размытых отложений, гидравлические уклоны трубопроводов для формирования необходимой транспортирующей скорости потока, влияние промывочного рукава на скоростные и расходные показатели потока размытых отложений.

Ключевые слова: дренажные трубопроводы, способы очистки, дренажно-промывочные устройства, транспортировка размытых отложений, напорный скоростной режим.

Abstract

N. N. Pogodin, A. S. Anzhenkov, V. A. Bolbyshko
THEORETICAL STUDY OF WATER CAPACITY OF DRAINAGE PIPELINES AT HYDRODYNAMIC CLEANING METHOD

Speed and flow rates of water flow (pulp) in drainage pipelines at various diameters and slopes are analyzed. Speed regime for transporting washed-out sediments, hydraulic slopes of pipelines to form the necessary transporting flow rate, the influence of the flushing hose on the speed and flow rates of the flow of washed-out sediments are defined.

Keywords: drainage pipelines, cleaning methods, drainage devices, transportation of eroded sediments, pressure high-speed mode.

Введение

В Республике Беларусь закрытая дренажная сеть обеспечивает водный режим на 2,23 млн га мелиорированных земель. Суммарная протяженность подземных дренажных трубопроводов составляет 957 тыс. км, в т. ч. 780 тыс. км – регулирующая дренажная и 177 тыс. км – проводящая коллекторная сеть.

Поддержание осушительной сети в работоспособном состоянии, обеспечивающем благоприятный водный режим для эффективного ведения растениеводства на мелиорированных землях, требует высокого уровня ее технического обслуживания при своевременной очистке дренажных трубопроводов от заилиения.

Эффективность работы закрытой дренажной системы определяется в т. ч. ее водопримной и водопротпускной способностями. Водопротпускная способность дренажных

трубопроводов во многом зависит от заилиения полостей дренажных трубок частицами грунта и окисными соединениями железа. Оно увеличивает время отвода избыточных грунтовых вод по сравнению с проектным, что приводит к переувлажнению мелиорированных земель.

В свою очередь, степень заилиения дренажных трубопроводов зависит от вида грунта, в котором они заложены, качества укладки, состояния защитно-фильтрующего материала, скорости и объема дренажного стока, влияющих на вынос отложений из трубопровода.

Заилиение бывает следующих видов:

- частицами грунта;
- окисными соединениями железа;
- смешанного, когда в слое частиц грунта находятся железистые соединения.

Заилиение окисными соединениями железа отмечается на территориях с повышенным

содержанием железа в грунтовых водах (больше 3 мг/л). Охра, отлагающаяся в дренажных трубках, в основном представляет собой осадок гидроокиси железа – студенистую массу, осаждающуюся на стенки дрен.

Результаты исследования и их обсуждение

Эффективность очистки дренажных трубопроводов зависит от степени их заилиения, скорости и объема дренажного стока. Последние параметры обуславливаются приточностью воды в дрены, а также диаметром и уклоном трубопроводов. Очистка дренажных трубопроводов заключается в выносе отложений, т. е. перемещении частиц грунта, которое, в свою очередь, зависит как от размера их фракций, так и скорости дренажного стока. По данным академика Н. Н. Павловского наименьшие допустимые скорости в дренах при обычных связных грунтах должны составлять 0,15–0,2 м/с; в песчаных грунтах – 0,3–0,35 м/с; для дрен, в которые могут поступать загрязненные воды, – 0,6 м/с [3]. В исследованиях профессора Д. А. Меламута указано, что для перемещения пылеватого и илистого грунта с геометрической крупностью частиц 0,005–0,05 мм необходима скорость потока воды 0,1–0,18 м/с, для суглинистых отложений – 0,25–0,35 м/с, для песка мелкого с крупностью частиц 0,05–0,25 мм – 0,18–0,3 м/с [4].

По нормам проектирования осушительных систем в Литовской ССР минимальные допустимые скорости в дренах, закладываемых в глинистых и суглинистых грунтах, принимались 0,2 м/с, в супесчаных и песчаных – 0,3 м/с, пылеватых – 0,4 м/с [5]. В Эстонской ССР за основу принималась величина допустимых минимальных уклонов при соответствующих скоростях потока воды в полностью заполненных трубах. Для транспортировки мелкозернистых песков и плавунцов (основная фракция 0,05–0,25 мм) требуются скорости в пределах 0,28–0,39 м/с, а для выноса глинистых грунтов (частицы грунта диаметром 0,01 мм до 50 %) необходимы скорости 0,2–0,3 м/с [6]. По данным профессора В. М. Зубца движение наносов в дренажных трубах начинается при 0,15–0,17 м/с, а средняя незаилающая скорость потока в дренах, обеспечивающая их самоочистку, должна находиться в пределах 0,3–0,4 м/с [7].

Наибольшие ее отложения наблюдаются в устьях, местах соединения дрен с коллектором, перехода уклонов с больших на меньшие, в карманах профиля, при нулевых и обратных уклонах [1, 2].

Согласно исследованиям Б. И. Блажиса размыв мелкозернистых наносов и пылеватой супеси возможен при выдерживании скоростей течения воды 0,30–0,35 м/с в дренажных трубах диаметром 50 мм; 0,35–0,40 м/с – при диаметре 100 мм; 0,50–0,55 м/с – при диаметре 200 мм [8].

Согласно исследованиям К. Ф. Алехандра частицы грунта больше 0,05 мм транспортируются и оседают в дренажных трубах, меньше 0,05 мм – транспортируются потоком и частично выносятся в канал и только при размере менее 0,01 мм – полностью выносятся из дрен и коллекторов, причем самоочистка происходит при скорости дренажного потока 0,2–0,3 м/с, а в мелкозернистых наносах полная прочистка дренажных линий – при 0,55–0,6 м/с [9].

В Республике Беларусь минимальный диаметр труб закрытой регулирующей сети принят 50 мм при уклоне дренажных трубопроводов не менее 0,003. При этом минимальная скорость течения воды в коллекторах при пропуске расчетных расходов должна составлять 0,3 м/с, а максимальная (не допускающая размыв) – 1,5 м/с в керамических трубах и 3,0 м/с – в пластмассовых [10].

Согласно изданным в БССР временным техническим условиям (1959) оптимальной скоростью движения воды в гончарных трубах считалась 0,6...0,8 м/с, а минимальная, при расположении дренажных систем в глинистых грунтах, принималась 0,3 м/с [11].

Для очистки трубопроводов от железистых соединений скорость потока по разным исследованиям должна составлять 0,3–0,4 м/с, а минимальный уклон дренажной линии – быть не менее 0,004 [1, 2, 12].

Самоочистка дренажных систем в основном происходит в весенний период при высоком уровне грунтовых вод. Эффективная очистка в значительной мере зависит от уровня воды в каналах. В период весенних паводков, летних и осенних дождей дренажная коллекторная

сеть в большей степени находится в подпоре, вследствие чего скорость дренажного стока в ней резко снижается, и самоочистка трубопроводов в полной мере не происходит.

Основным способом очистки дренажных трубопроводов от заиливания является гидродинамический с применением дренажно-промывочных машин. Для оценки возможности транспортировки размытого грунта по дренажным трубопроводам необходимы сведения о режимах движения воды (пульпы) в трубопроводах в зависимости от их уклона и диаметра.

Различают два основных режима движения потока: ламинарный и турбулентный. Турбулентный поток способен удерживать частицы грунта во взвешенном состоянии и транспортировать их на значительное расстояние, несмотря на то, что плотность этих частиц в 2–3 раза превышает плотность воды. Данный режим определяется числом Рейнольдса R_e . Турбулентный режим движения устанавливается для труб при $R_e \geq 2320$ [3].

В табл. 1 приведены значения числа R_e , соответствующие скоростным характеристикам потока воды при температуре 10 °C ($\sigma_{10^\circ} = 0,013 \text{ см}^2/\text{с}$).

Таблица 1 – Значение числа R_e в зависимости от скорости течения воды, диаметра и уклона трубопровода

| Диаметр трубопровода, мм | Уклон трубопровода | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 0,002 | | 0,003 | | 0,004 | | 0,005 | | 0,006 | | 0,007 | |
| | V | R_e | V | R_e | V | R_e | V | R_e | V | R_e | V | R_e |
| 50 | 0,14 | 7000 | 0,18 | 9000 | 0,20 | 10000 | 0,22 | 11000 | 0,25 | 12500 | 0,26 | 13000 |
| 75 | 0,18 | 13500 | 0,23 | 17250 | 0,26 | 19500 | 0,29 | 21750 | 0,33 | 24750 | 0,35 | 26250 |
| 100 | 0,23 | 23000 | 0,27 | 27000 | 0,32 | 32000 | 0,35 | 35000 | 0,39 | 39000 | 0,42 | 42000 |
| 125 | 0,26 | 32500 | 0,32 | 40000 | 0,37 | 46250 | 0,41 | 51250 | 0,45 | 56250 | 0,48 | 60000 |
| 150 | 0,30 | 45000 | 0,36 | 54000 | 0,42 | 63000 | 0,48 | 72000 | 0,51 | 76500 | 0,56 | 84000 |
| 175 | 0,33 | 57750 | 0,41 | 71750 | 0,46 | 80500 | 0,52 | 91000 | 0,56 | 98000 | 0,62 | 108500 |

Примечание. V – скорость потока воды, м/с.

Как следует из табл. 1, в полностью заполненных дренажных трубопроводах наблюдается турбулентный режим потока воды.

При гидродинамическом способе очистки размыв отложений осуществляется посредством применения промывочной насадки, вода к которой подводится через напорный промывочный рукав.

Промывочный рукав во время очистки дренажного трубопровода находится в его полости и оказывает существенное влияние на характеристики потока воды.

Установлено, что оптимальный диаметр промывочного рукава при использовании насоса с давлением 5 МПа составляет 20 мм. Толщина стенок промывочных рукавов при расчетном давлении 5 МПа обычно составляет 3,5–4,0 мм. Примем толщину стенок 4,0 мм, тогда наружный диаметр промывочного рукава составит 28 мм.

Расчетная схема для определения характеристик потока воды в дренажном трубопроводе при нахождении в его полости промывочного рукава представлена на рис. 1.

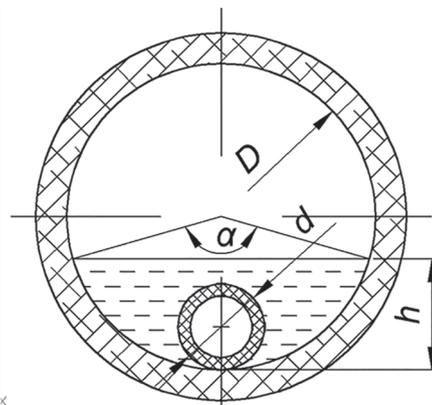


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения характеристик потока воды в дренажном трубопроводе при нахождении в его полости промывочного рукава

Гидравлический радиус определяется как отношение площади живого сечения потока к длине смоченного периметра.

Площадь живого сечения потока можно определить по следующей зависимости:

$$W = S_c - S_{np}, \quad (1)$$

где: S_c – площадь сегмента потока воды, м^2 ;

S_{np} – площадь сечения промывочного рукава, м².

Площадь сегмента определяется по общеизвестной формуле

$$S_c = \frac{D^2 \alpha}{8} - \sqrt{Dh - h^2} \left(\frac{D}{2} - h \right). \quad (2)$$

где: D – диаметр дренажного трубопровода, м;

α – центральный угол, рад.;

h – высота потока, м.

Центральный угол α , в свою очередь, равен

$$\alpha = 2 \arccos \frac{D - 2h}{D}. \quad (3)$$

Длина смоченного периметра, м, составит

$$\chi = l + \pi d, \quad (4)$$

где: l – длина смоченного участка диаметра трубопровода, м;

d – диаметр промывочного рукава, м.

Длина смоченного участка диаметра трубопровода, м, составит

$$l = \frac{D \alpha}{2}. \quad (5)$$

Влияние напорного промывочного рукава на скоростные и расходные показатели потока воды в дренажных трубопроводах приведено в табл. 2.

Таблица 2 – Средние гравитационные расходы и скорости течения воды в полностью заполненных трубопроводах при расположении в них напорного промывочного рукава диаметром 28 мм (сложные условия)

| Диаметр трубопровода, мм | Уклон трубопровода | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0,002 | | 0,003 | | 0,004 | | 0,005 | | 0,006 | | 0,007 | |
| | V | Q | V | Q | V | Q | V | Q | V | Q | V | Q |
| 75 | 0,14 | 0,53 | 0,17 | 0,65 | 0,20 | 0,75 | 0,22 | 0,84 | 0,24 | 0,92 | 0,26 | 0,99 |
| 100 | 0,18 | 1,33 | 0,22 | 1,63 | 0,26 | 1,88 | 0,29 | 2,10 | 0,32 | 2,30 | 0,34 | 2,49 |
| 125 | 0,22 | 2,60 | 0,27 | 3,18 | 0,31 | 3,67 | 0,35 | 4,11 | 0,38 | 4,50 | 0,42 | 4,86 |
| 150 | 0,26 | 4,42 | 0,32 | 5,41 | 0,37 | 6,25 | 0,41 | 6,98 | 0,45 | 7,65 | 0,48 | 8,26 |
| 175 | 0,29 | 6,86 | 0,36 | 8,40 | 0,41 | 9,70 | 0,46 | 10,85 | 0,51 | 11,88 | 0,55 | 12,83 |

Примечание. V – скорость потока воды, м/с; Q – расход, л/с.

Анализ табл. 2 показывает, что наличие в трубопроводе напорного промывочного рукава существенно снижает скоростные и расходные показатели потока воды. Наиболее отчетливо это проявилось при диаметре коллектора 75 мм, где снижение составило соответственно 32,8 и 36,2 %, а при диаметре 175 мм скорость и расход потока воды снизилась всего на 12,1 и 13,0 %, т. е. при увеличении диаметра трубопровода влияние напорного рукава на скоростные и расходные показатели воды снижается.

Для оценки возможности выноса размываемых отложений из трубопроводов гравитационным потоком воды в процессе их промывки необходимы сведения о скоростных и расходных показателях воды (пульпы) при различных ее уровнях в трубопроводах. Для упрощения данных расчетов в табл. 3–5 приведены показатели гидравлических параметров потока воды (пульпы) в наиболее распространенных дренажных коллекторах диаметром 75, 100 и 125 мм при расположении в них напорного рукава диаметром 28 мм.

На основании значений гидравлического радиуса в табл. 6–8 приведены средние гравитационные скорости течения воды (пульпы) и ее расходы в дренажных трубопроводах диаметром 75, 100 и 125 мм при расположении в них напорного рукава диаметром 28 мм в зависимости от степени наполнения и уклонов.

Исходя из анализа исследований ряда авторов по очистке дренажных трубопроводов гравитационным потоком воды, изложенных ранее в тексте, и материалов, характеризующих скоростной и расходный потоки воды (табл. 6–8), можно сделать вывод, что в процессе продвижения промывочного рукава с насадкой по трубопроводу гравитационным потоком могут извлекаться частицы грунта размером менее 0,01 и частично – 0,05 мм, т. к. при наиболее распространенных уклонах коллекторов 0,002–0,003 скорость пульпы не превышает 0,2–0,3 м/с. Следовательно, для эффективной очистки трубопровода необходимо создать в нем напорный скоростной режим транспортирования размываемых отложений.

Таблица 3 – Расчетные значения гидравлических параметров потока воды (пульпы) в трубопроводе диаметром 75 мм при расположении в нем напорного промывочного рукава диаметром 28 мм

| Наполнение трубопровода | | Площадь живого сечения в долях квадрата диаметра (w/d^2) | Смоченный периметр в долях диаметра (x/d) | *Гидравлический радиус в долях диаметра (R/d) |
|-------------------------|-----------------------|--|---|---|
| в долях диаметра, h/d | от площади сечения, % | | | |
| 0,1 | 5 | – | – | – |
| 0,2 | 14 | – | – | – |
| 0,3 | 25 | 0,0887 | 2,3321 | 0,0380 |
| 0,4 | 37 | 0,1839 | 2,5423 | 0,0723 |
| 0,5 | 50 | 0,2832 | 2,7436 | 0,1032 |
| 0,6 | 63 | 0,3826 | 2,9450 | 0,1299 |
| 0,7 | 75 | 0,4777 | 3,1551 | 0,1514 |
| 0,8 | 86 | 0,5641 | 3,3871 | 0,1665 |
| 0,9 | 95 | 0,6351 | 3,6710 | 0,1730 |
| 1,0 | 100 | 0,6759 | 4,3144 | 0,1567 |

Примечание. * – расчет выполнен при нижнем расположении рукава в трубопроводе.

Таблица 4 – Расчетные значения гидравлических параметров потока воды (пульпы) в трубопроводе диаметром 100 мм при расположении в нем напорного промывочного рукава диаметром 28 мм

| Наполнение трубопровода | | Площадь живого сечения в долях квадрата диаметра (w/d^2) | Смоченный периметр в долях диаметра (x/d) | *Гидравлический радиус в долях диаметра (R/d) |
|-------------------------|-----------------------|--|---|---|
| в долях диаметра, h/d | от площади сечения, % | | | |
| 0,1 | 5 | – | – | – |
| 0,2 | 14 | – | – | – |
| 0,3 | 25 | 0,1366 | 2,0389 | 0,0670 |
| 0,4 | 37 | 0,2318 | 2,2491 | 0,1031 |
| 0,5 | 50 | 0,3311 | 2,4504 | 0,1351 |
| 0,6 | 63 | 0,4305 | 2,6518 | 0,1623 |
| 0,7 | 75 | 0,5257 | 2,8620 | 0,1837 |
| 0,8 | 86 | 0,6120 | 3,0939 | 0,1978 |
| 0,9 | 95 | 0,6829 | 3,3778 | 0,2022 |
| 1,0 | 100 | 0,7238 | 4,0212 | 0,1800 |

Примечание. * – расчет выполнен при нижнем расположении рукава в трубопроводе.

Таблица 5 – Расчетные значения гидравлических параметров потока воды (пульпы) в трубопроводе диаметром 125 мм при расположении в нем напорного промывочного рукава диаметром 28 мм

| Наполнение трубопровода | | Площадь живого сечения в долях квадрата диаметра (w/d^2) | Смоченный периметр в долях диаметра (x/d) | *Гидравлический радиус в долях диаметра (R/d) |
|-------------------------|-----------------------|--|---|---|
| в долях диаметра, h/d | от площади сечения, % | | | |
| 0,1 | 5 | – | – | – |
| 0,2 | 14 | 0,0724 | 1,6310 | 0,0444 |
| 0,3 | 25 | 0,1588 | 1,8630 | 0,0852 |
| 0,4 | 37 | 0,2540 | 2,0732 | 0,1225 |
| 0,5 | 50 | 0,3533 | 2,2745 | 0,1553 |
| 0,6 | 63 | 0,4526 | 2,4759 | 0,1828 |
| 0,7 | 75 | 0,5478 | 2,6860 | 0,2040 |
| 0,8 | 86 | 0,6342 | 2,9180 | 0,2173 |
| 0,9 | 95 | 0,7051 | 3,2018 | 0,2202 |
| 1,0 | 100 | 0,7460 | 3,8453 | 0,1940 |

Примечание. * – расчет выполнен при нижнем расположении рукава в трубопроводе.

При гидродинамической очистке основной вынос отложений происходит за счет истечения струй воды из тыльных сопел промывочной насадки.

Для повышения эффективности транспортировки размытых отложений разработана промывочная насадка, отличающаяся тем, что на корпусе между передним и задними соплами установлена манжета. При извлечении из трубопровода она изгибается и работает как скребок: вместе с потоком воды выносит отложения наружу [16].

При извлечении насадки со скоростью, превышающей скорость гравитационного потока, перед ней создается напорный режим движения воды (пульпы).

Необходимый расчетный расход воды (пульпы) $Q_{рас}$ можно вычислить по зависимости

$$Q_{рас} = \frac{V_{рас}}{V} Q, \quad (6)$$

где: $V_{рас}$ – необходимая расчетная скорость потока, м/с;

V – существующая скорость, м/с;

Q – существующий расход, л/с.

Важным параметром работы дренажного трубопровода является расходная характеристика K , которая представляет собой расход трубопровода при гидравлическом уклоне, равном единице. Она определяется по формуле академика Н. Н. Павловского [3]

$$K = w \cdot C \sqrt{R}, \quad (7)$$

где: w – площадь живого сечения потока, м²;

C – коэффициент Шези;

R – гидравлический радиус, м.

Значение K для дренажных трубопроводов диаметром 75–125 мм при расположении в них напорного рукава и в зависимости от степени наполнения их водой, приведены в табл. 9.

Таблица 6 – Средние гравитационные скорости течения воды (пульпы) и ее расходы в дренажном трубопроводе диаметром 75 мм при расположении в нем промывочного рукава диаметром 28 мм в зависимости от степени наполнения и уклонов ($n = 0,017$)

| Наполнение трубопровода в долях диаметра, h/d | 0,002 | | 0,003 | | 0,004 | | 0,005 | | 0,006 | | 0,007 | |
|---|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | Q | V | Q | V | Q | V | Q | V | Q | V | Q | V |
| 0,3 | 0,03 | 0,05 | 0,03 | 0,07 | 0,04 | 0,08 | 0,04 | 0,08 | 0,05 | 0,09 | 0,05 | 0,10 |
| 0,4 | 0,08 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,15 | 0,14 | 0,16 | 0,15 |
| 0,5 | 0,16 | 0,10 | 0,20 | 0,13 | 0,23 | 0,15 | 0,26 | 0,16 | 0,28 | 0,18 | 0,31 | 0,19 |
| 0,6 | 0,26 | 0,12 | 0,32 | 0,15 | 0,37 | 0,17 | 0,41 | 0,19 | 0,45 | 0,22 | 0,48 | 0,23 |
| 0,7 | 0,36 | 0,13 | 0,44 | 0,16 | 0,51 | 0,19 | 0,57 | 0,21 | 0,62 | 0,23 | 0,67 | 0,25 |
| 0,8 | 0,45 | 0,14 | 0,55 | 0,17 | 0,64 | 0,20 | 0,71 | 0,22 | 0,78 | 0,25 | 0,84 | 0,27 |
| 0,9 | 0,52 | 0,14 | 0,64 | 0,18 | 0,73 | 0,21 | 0,82 | 0,23 | 0,90 | 0,25 | 0,97 | 0,27 |
| 1 | 0,52 | 0,14 | 0,63 | 0,17 | 0,73 | 0,19 | 0,82 | 0,22 | 0,90 | 0,24 | 0,97 | 0,25 |

Примечание. Q – расход, л/с; V – скорость, м/с.

Таблица 7 – Средние гравитационные скорости течения воды (пульпы) и ее расход в дренажном трубопроводе диаметром 100 мм при расположении в нем промывочного рукава диаметром 28 мм в зависимости от степени наполнения и уклонов ($n = 0,017$)

| Наполнение трубопровода в долях диаметра, h/d | 0,002 | | 0,003 | | 0,004 | | 0,005 | | 0,006 | | 0,007 | |
|---|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | Q | V | Q | V | Q | V | Q | V | Q | V | Q | V |
| 0,3 | 0,13 | 0,09 | 0,16 | 0,12 | 0,18 | 0,13 | 0,20 | 0,15 | 0,22 | 0,16 | 0,24 | 0,18 |
| 0,4 | 0,29 | 0,13 | 0,35 | 0,15 | 0,41 | 0,18 | 0,46 | 0,20 | 0,50 | 0,22 | 0,54 | 0,23 |
| 0,5 | 0,49 | 0,15 | 0,61 | 0,18 | 0,70 | 0,21 | 0,78 | 0,24 | 0,86 | 0,26 | 0,93 | 0,28 |
| 0,6 | 0,73 | 0,17 | 0,89 | 0,21 | 1,03 | 0,24 | 1,15 | 0,27 | 1,26 | 0,29 | 1,36 | 0,32 |
| 0,7 | 0,96 | 0,18 | 1,18 | 0,22 | 1,36 | 0,26 | 1,52 | 0,29 | 1,67 | 0,32 | 1,80 | 0,34 |
| 0,8 | 1,18 | 0,19 | 1,44 | 0,24 | 1,67 | 0,27 | 1,86 | 0,30 | 2,04 | 0,33 | 2,20 | 0,36 |
| 0,9 | 1,33 | 0,19 | 1,63 | 0,24 | 1,89 | 0,28 | 2,11 | 0,31 | 2,31 | 0,34 | 2,50 | 0,37 |
| 1 | 1,31 | 0,18 | 1,60 | 0,22 | 1,85 | 0,26 | 2,07 | 0,29 | 2,27 | 0,31 | 2,45 | 0,34 |

Примечание. Q – расход, л/с; V – скорость, м/с.

Таблица 8 – Средние гравитационные скорости течения воды (пульпы) и ее расход в дренажном трубопроводе диаметром 125 мм при расположении в нем промывочного рукава диаметром 28 мм в зависимости от степени наполнения и уклонов ($n = 0,017$)

| Наполнение трубопровода в долях диаметра, h/d | 0,002 | | 0,003 | | 0,004 | | 0,005 | | 0,006 | | 0,007 | |
|---|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | Q | V | Q | V | Q | V | Q | V | Q | V | Q | V |
| 0,2 | 0,09 | 0,08 | 0,11 | 0,10 | 0,13 | 0,12 | 0,15 | 0,13 | 0,16 | 0,14 | 0,18 | 0,15 |
| 0,3 | 0,32 | 0,13 | 0,39 | 0,16 | 0,45 | 0,18 | 0,50 | 0,20 | 0,55 | 0,22 | 0,59 | 0,24 |
| 0,4 | 0,64 | 0,16 | 0,79 | 0,20 | 0,91 | 0,23 | 1,02 | 0,26 | 1,12 | 0,28 | 1,21 | 0,30 |
| 0,5 | 1,05 | 0,19 | 1,29 | 0,23 | 1,48 | 0,27 | 1,66 | 0,30 | 1,82 | 0,33 | 1,96 | 0,36 |
| 0,6 | 1,50 | 0,21 | 1,84 | 0,26 | 2,12 | 0,30 | 2,37 | 0,34 | 2,60 | 0,37 | 2,80 | 0,40 |
| 0,7 | 1,95 | 0,23 | 2,39 | 0,28 | 2,76 | 0,32 | 3,09 | 0,36 | 3,38 | 0,40 | 3,65 | 0,43 |
| 0,8 | 2,36 | 0,24 | 2,89 | 0,29 | 3,33 | 0,34 | 3,73 | 0,38 | 4,08 | 0,41 | 4,41 | 0,45 |
| 0,9 | 2,64 | 0,24 | 3,24 | 0,29 | 3,74 | 0,34 | 4,18 | 0,38 | 4,58 | 0,42 | 4,95 | 0,4 |
| 1 | 2,57 | 0,22 | 3,32 | 0,27 | 3,63 | 0,31 | 4,06 | 0,35 | 4,45 | 0,38 | 4,81 | 0,41 |

Примечание. V – скорость потока воды, м/с; Q – расход, л/с.

Таблица 9 – Значение расходной характеристики K в зависимости от диаметра трубопровода и степени его наполнения при коэффициенте шероховатости 0,017

| Наполнение трубопровода | | Диаметр трубопровода, мм | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|------------------------------------|--------|-------|--------|-------|---------|
| | | 75 | | 100 | | 125 | |
| в долях диаметра, h/d | от площади сечения, % | Расходная характеристика K , л/с | | | | | |
| | | K | K^2 | K | K^2 | K | K^2 |
| 0,1 | 5 | – | – | – | – | – | – |
| 0,2 | 14 | – | – | – | – | 2,09 | 4,36 |
| 0,3 | 25 | 0,59 | 0,35 | 2,86 | 8,16 | 7,07 | 49,94 |
| 0,4 | 37 | 1,88 | 3,53 | 6,46 | 41,72 | 14,40 | 207,29 |
| 0,5 | 50 | 3,67 | 13,46 | 11,05 | 122,18 | 23,46 | 550,52 |
| 0,6 | 63 | 5,78 | 33,36 | 16,24 | 263,66 | 33,51 | 1122,84 |
| 0,7 | 75 | 7,99 | 63,83 | 21,53 | 463,57 | 43,63 | 1903,20 |
| 0,8 | 86 | 10,05 | 101,03 | 26,34 | 693,66 | 52,69 | 2775,82 |
| 0,9 | 95 | 11,61 | 134,60 | 29,82 | 889,44 | 59,10 | 3492,76 |
| 1,0 | 100 | 11,56 | 133,70 | 29,25 | 855,65 | 57,46 | 3301,46 |

Потери напора H_w по длине трубопровода можно определить по следующей формуле [15]:

$$H_w = \frac{Q^2}{K^2} \ell, \quad (8)$$

где: Q – расход воды в трубопроводе, м³/с (л/с);

d – диаметр трубопровода, м;

K – расходная характеристика, м³/с (л/с);

ℓ – длина трубопровода, м.

Расход можно представить следующим образом:

$$Q = K \sqrt{\frac{H_w}{\ell}} = K \sqrt{i}, \quad (9)$$

где: i – уклон трубопровода.

В свою очередь,

$$i = \frac{Q^2}{K^2}, \quad (10)$$

С учетом вышеприведенных зависимостей можно рассчитать необходимый гидравличе-

ский уклон, обеспечивающий транспортировку пульпы по дренажному трубопроводу при определенной транспортирующей скорости потока пульпы.

Допустим, необходимая транспортирующая скорость должна составлять 0,6 м/с. Расчет выполним при диаметрах трубопроводов 75, 100 и 125 мм.

По зависимости (6) определим необходимый расчетный расход пульпы согласно данных табл. 6–8 по скоростям и расходам при $h/d = 1$:

– для диаметра 75 мм

$$Q_{\text{рас. 75}} = \frac{0,6 \times 0,52}{0,14} = 2,23 \text{ л/с};$$

– для диаметра 100 мм

$$Q_{\text{рас. 100}} = \frac{0,6 \times 1,31}{0,18} = 4,34 \text{ л/с};$$

– для диаметра 125 мм

$$Q_{рас. 125} = \frac{0,6 \times 2,57}{0,22} = 7,01 \text{ л/с.}$$

Необходимый гидравлический уклон определим по формуле (10) для соответствующих диаметров и расходной характеристики, приведенных в табл. 9. При диаметре трубопровода 75 мм $i = \frac{2,23^2}{133,7} = 0,037$; для диаметров 100 и 125 мм уклон соответственно составит 0,022 и 0,015.

При действующем уклоне 0,002 необходимый гидравлический уклон для транспортировки пульпы при скорости 0,6 м/с должен составлять 0,035 при диаметре трубопровода 75 мм. А при диаметрах 100 и 125 мм соответственно 0,02 и 0,013. Следовательно, для очистки трубопровода диаметром 75 мм на расстояние 100, 200 и 300 м необходимо создавать напор воды 3,5; 7,0 и 10,5 м. Для трубопровода диаметром 100 мм необходим напор 2,0; 4,0 и 6,0

м, а для трубопроводов диаметром 125 мм – соответственно 1,3; 2,6 и 3,9 м.

С учетом методики вышеприведенных расчетов в табл. 10 указаны гидравлические уклоны дренажных трубопроводов, обеспечивающие напорную транспортировку размытых отложений (пульпы) в зависимости от необходимой транспортирующей скорости потока.

На рис. 2 представлены теоретически рассчитанные гидравлические уклоны дренажных трубопроводов в зависимости от необходимой транспортирующей скорости потока размытых отложений (пульпы), обеспечивающей их гидротранспорт.

Приведенные исследования будут использованы в дальнейшем при разработке нового конструктивного решения промывочной насадки и расчета усилий при извлечении ее из дренажного трубопровода в процессе его промывки с учетом рассчитанного напора воды, а также данных табл. 10 и рис. 2.

Таблица 10 – Гидравлический уклон, обеспечивающий напорную транспортировку пульпы по дренажному трубопроводу в зависимости от необходимой транспортирующей скорости потока

| Необходимая транспортирующая скорость, м/с | Диаметр трубопровода, мм | | | | | |
|--|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | 75 | | 100 | | 125 | |
| | Расчетный расход пульпы, л/с | Необходимый гидравлический уклон | Расчетный расход пульпы, л/с | Необходимый гидравлический уклон | Расчетный расход пульпы, л/с | Необходимый гидравлический уклон |
| 0,2 | 0,74 | 0,004 | 1,46 | 0,002 | 2,33 | 0,002 |
| 0,4 | 1,48 | 0,016 | 2,91 | 0,010 | 4,67 | 0,006 |
| 0,6 | 2,23 | 0,037 | 4,37 | 0,022 | 7,01 | 0,015 |
| 0,8 | 2,97 | 0,066 | 5,82 | 0,040 | 9,34 | 0,026 |
| 1,0 | 3,71 | 0,103 | 7,28 | 0,062 | 11,68 | 0,041 |

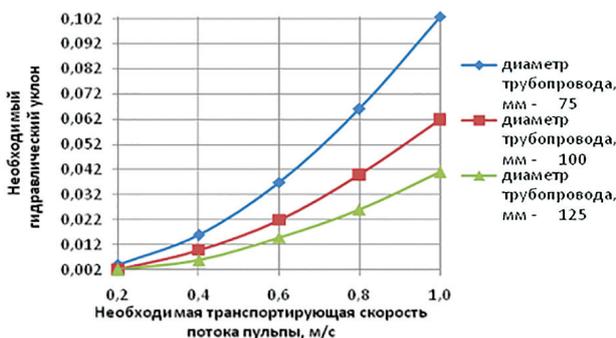


Рисунок 2 – Зависимости гидравлических уклонов дренажных трубопроводов от необходимой транспортирующей скорости потока пульпы

Заключение

Выполненные исследования позволяют определить значения гидравлических параметров потока воды (пульпы), а также режимы гравитационной и напорной транспортировки размытых отложений (пульпы) в дренажных трубопроводах при гидродинамическом способе их очистки.

Библиографический список

1. Маслов, Б. С. Заиление дренажей железистыми отложениями: природа и способы борьбы / Б. С. Маслов // Гидротехника и мелиорация. – 1972. – № 10. – С. 34-41.
2. Хруцкая, З. Я. Заиление дренажа железистыми соединениями / З. Я. Хруцкая. – М : Колос, 1970. – С. 64-66.
3. Павловский, Н. Н. Краткий гидравлический справочник / Н. Н. Павловский. – Л. ; М. : Госиздат, 1940. – 309 с.
4. Меламут, Д. Л. Гидромеханизация в мелиоративном строительстве / Д. Л. Меламут. – М. : Стройиздат, 1981. – С. 89.
5. Научный отчет Лит НИИГиМ. – Кедайнай, 1969. – 42 с.
6. Митрахович, А. И. Исследование гидравлических характеристик заиленных полиэтиленовых гофрированных труб. / А.И. Митрахович // Мелиорация. – 2017. – № 3 (81). – С. 29-35.
7. Зубец, В. М. Эксплуатация закрытых осушительных систем / В. М. Зубец, А. Е. Вакар. – М. : Агропромиздат, 1989. – С. 31.
8. Блажис, Б. И. Гидравлические сопротивления гончарных и бетонных дренажных труб : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 06.531 / Б. И. Блажис. – Харьков, 1962.
9. Алеканд, К. Ф. Исследование заиления гончарного дренажа в минеральных грунтах : автореф. дис. ... канд. : 06.531 / К. Ф. Алеканд. – Минск, 1966.
10. Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования : ТКП 45-3.04-8-2005 (02250) : введ. 01.11.2005 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2006. – 105 с.
11. Временные технические условия и нормы для проектирования осушительных систем на минеральных избыточно-увлажненных землях в БССР / Министерство сельского хозяйства БССР. – Минск : Издательство Академии сельскохозяйственных наук БССР, 1959. – 17 с.
12. Кунце, Г. Загрязнение почвы железом и заохривание труб. / Г. Кунце. – М.: Агропромиздат, 1986. – С.102.
13. Проектирование и возведение мелиоративных систем и сооружений : пособие П 1-98 СНиП 2.06.03 –85. – Минск, 1999. – 85 с.
14. Мелиорация и водное хозяйство. Осушение: справочник / под ред. Б. С. Маслова. – М. : Агропромиздат, 1985. – 447 с.
15. Киселев, П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселев. М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1961. – 349 с.
16. Промывочная головка : пат. ВУ 11880 / В. А. Болбышко, Н. Н. Погодин. – Оpubл. 24.08.2018.

Поступила 11.09.2019

ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ПРИСТЕННОГО ДРЕНАЖА БРЫЗГАЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ

В. И. Селезнев, кандидат технических наук

И. Ч. Казмирук, кандидат технических наук, доцент

Л. Н. Юшин, магистрант

С. С. Копаченя, студентка

Е. С. Мороз, студентка

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

Аннотация

Приведен расчет притока грунтовых вод к пристенному дренажу брызгального бассейна. При невозможности получения данных о водопримной способности конструкций пристенного дренажа из-за граничных условий формулы по определению осредненного коэффициента фильтрации проведена серия лабораторных экспериментов. В лабораторных условиях на экспериментальной установке получены результаты водопримной способности конструкций пристенного дренажа с керамзитом и щебнем в качестве фильтрующих слоев обратного фильтра. По полученным эмпирическим формулам рассчитан отвод воды 1 метром пластового дренажа. Сделаны выводы о целесообразности применения конструкции пристенного дренажа с керамзитом, песком среднезернистым и геотекстилем в роли разделительной мембраны фильтрующих слоев.

Ключевые слова: брызгальный бассейн, геотекстиль, пристенный дренаж, фильтрация.

Abstract

V. I. Seleznev, I. Ch. Kazmiruk, L. N. Yushin, S. S. Kopachenya, E. S. Moroz

STUDY OF WORKING CONDITIONS FOR SIDE DRAINAGE OF SPRAY PONDS

The calculation of groundwater inflow to the side drainage of the spray pond is given. A series of laboratory experiments was carried out to determine the averaged filtration coefficient as it is impossible to obtain data on the water intake capacity of wall drainage structures due to the boundary conditions of the formula. In laboratory conditions at the experimental installation, the results of the water intake of wall drainage structures with expanded clay and crushed stone as filter layers of the inverse filter were obtained. According to the obtained empirical formulas, water drainage was calculated by 1 m of reservoir drainage. Conclusions on the appropriateness of using wall drainage construction with expanded clay, medium-grained sand and geotextiles as the separation membrane of the filter layers and the separation membrane of the filter layers are drawn.

Keywords: spray pond, geotextile, side drainage, filtration.

Введение

Пристенный дренаж применяется в тех случаях, когда основания сооружений находятся на водоупоре. Пристенный дренаж брызгальных бассейнов предназначен для защиты сооружений от всплывания в опоромощенном состоянии и выполняется в виде трубчатых дрен, уложенных по периметру фундаментных плит. Он состоит из дренажных труб с фильтрующей обсыпкой, заглубленных в водоупор. Дренаж представляет собой незамкнутое кольцо и располагается по контуру защищаемого сооружения. Его действие основано на понижении уровня грунтовых вод внутри защищаемого

контура и со стороны их притока. Дрены закладывают на удалении от брызгального бассейна и располагают в траншее открытого водоотлива. Грунтовые воды удаляются дренажными насосными станциями.

Определение притока грунтовых вод к пристенному дренажу проводится на основании расчетных формул, предложенных С. К. Абрамовым [1]. Конструкция слоев объемного фильтра изменилась за годы его применения в строительстве. Если ранее слои обратного фильтра проектировались из условия непросыпаемости более мелких зерен через поры более крупных,

то в настоящее время имеется возможность разделять слои различной пористости с помощью геотекстиля, тем самым уменьшая объем фильтрующего материала без снижения эффективности работы пристенных дрен. Геотекстиль выполняет роль разделительной мембраны,

пропускающей воду и не позволяющей мелкому фильтрующему материалу (песку) попадать в поры более крупного (щебня, керамзита). Применение геотекстиля позволяет сократить количество дренируемых слоев в пластиковом дренаже.

Основная часть

Геологические условия

Площадка брызгального бассейна находится на спокойном равнинном рельефе местности с уклоном территории менее 5°. Отрицательные формы рельефа представлены озерными котловинами и депрессиями, к которым относятся болота. На фоне равнинного рельефа местами наблюдается расчлененный, происхождение которого связано с аккумулятивной и эрозионной деятельностью ледника, эрозионной деятельностью поверхностных вод, абразией и аккумуляцией.

Современный рельеф в целом повторяет рельеф дочетвертичных пород, поверхность

которых сформировалась в результате эрозионной деятельности ледника. Почвенный покров состоит из дерново-подзолистых почв в сочетании с болотно-подзолистыми и болотными, характерными для понижений рельефа.

На территории района размещения брызгального бассейна почвообразующие породы представлены четвертичными рыхлыми отложениями различного генеза. Состав и физико-механические характеристики грунтов установлены лабораторными исследованиями и полевыми методами (табл. 1).

Гидрогеологические условия

Гидрогеологические условия площадки характеризуются тремя водоносными горизонтами подземных вод, выделяющимися в разрезе верхней песчано-глинистой толщи, разделенными относительным водоупором. Водовмещающие породы – песчаные, супесчаные и гравийно-галечные отложения

с невыдержанными прослоями глин и суглинков. Последние являются локальными водупорами. Уровень грунтовых вод в весенний период находится на глубине 2 м. Их питание осуществляется по всей площади распространения горизонта за счет инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод.

Таблица 1 – Физико-механические (геотехнические) характеристики грунтов основания фундаментов

| Наименование показателей | Песчаники | Суглинки |
|--|-----------|----------|
| Плотность, кг/м ³ | 2160 | 2140 |
| Плотность частиц грунта, кг/м ³ | 2700 | 2730 |
| Влажность, % | 13 | 16 |
| Показатель текучести | – | –0,43 |
| Число пластичности | – | 14 |
| Коэффициент фильтрации, м/сут | 1,1 | 0,05 |
| Модуль упругости, МПа | 380 | 105 |
| Модуль общей деформации, МПа | 150 | 35 |
| Коэффициент Пуассона (статический) | 0,29 | 0,36 |
| Коэффициент Пуассона (динамический) | 0,47 | 0,47 |
| Угол внутреннего трения, град. | 42 | 18 |
| Удельное сцепление, кПа | 34 | 42 |

Верхний водоносный горизонт представлен песками и сильновыветрелыми, сильнотрещиноватыми песчаниками, залегающими с поверхности или под четвертичными отложениями и подстилаемыми кембрийскими глинами. Режим фильтрации верхней зоны безнапорный. Мощность верхнего водоносного горизонта переменна, максимальное значение 4,5 м. Средний коэффициент фильтрации опытно-фильтрационных работ – 1,3 м/сут., коэффициент пьезопродности составляет $8 \cdot 10^3$ м²/сут., коэффициент фильтрации – от 0,25 до 5,8 м/сут. Подземные воды четвертичных отложений и верхнего водоносного горизонта имеют тесную гидравлическую связь, участвуют в его питании.

Средний водоносный горизонт представлен песчаниками более уплотненными и менее трещиноватыми, чем вышележащий. Водоносная зона перекрыта пластичными глинами

Конструктивные решения

Брызгальные установки представляют собой открытые водоемы с расположенными над поверхностью воды в бассейне разбрызгивающими соплами, через которые под напором циркуляционных насосов подается охлаждаемая вода (рис. 1). Охлаждение воды в самом бассейне играет при этом уже незначительную роль сравнительно с охлаждением капель, образующихся при разбрызгивании воды соплами. Обеспечивается отвод тепла от промконтра, который, в свою очередь, выполняет охлаждение насосных агрегатов, задействованных в проведении циркуляционной промывки первого контура. Нагретая вода отводится по отводящим водоводам к камерам переключения брызгальных бассейнов и далее к распределительным трубопроводам для охлаждения. На электростанции предусмотрено восемь насосных агрегатов по два на канал безопасности. Производительность каждого канала – 1700 м³/ч. Основное назначение данной системы – подача охлаждающей воды для отвода тепла от ответственных потребителей при работе блока на мощности, штатном разогреве, расхолаживании и перегрузке топлива, а также отвод остаточных тепловыделений и охлаждение потребителей, участвующих в устранении аварий с использованием брызгальных бассейнов.

мощностью 1–2 м и подстлается мощной (до 10–12 м) толщей нижнекембрийских глин, по данным проведенных ранее исследований – трещиноватых. Режим фильтрации средней зоны напорный. Мощность среднего водоносного горизонта – 6,5–7 м. Средний коэффициент фильтрации опытно-фильтрационных работ – 1,0 м/сут., коэффициент пьезопродности составляет величину порядка 10^4 м²/сут. Связь верхних и средних песчаников осуществляется также на участках, где отсутствует разделяющая их глинистая прослойка.

Нижний водоносный горизонт имеет высоконапорный режим фильтрации. Подробно в статье не рассматривается, поскольку его характеристики не участвуют в расчетах.

Величина рН находится в пределах ПДК. Средняя температура подземных вод составляет 2–6 °С. Поэтому введение температурной поправки в расчет не требуется.



Рисунок 1 – Брызгальный бассейн

Брызгальные бассейны оборудуют двойной защитой от проникновения воды в грунт. Для системы охлаждающей воды ответственных потребителей предусматривается по два брызгальных бассейна на каждый энергоблок. Охлажденная в бассейнах вода самотечными водоводами через камеры переключений подводится к водоприемникам насосных станций ответственных потребителей, проходит через вращающиеся водоочистные сетки на насосы и далее по подводящим водоводам подается к теплообменникам ответственных потребителей в здание безопасности. Брызгальные бассейны относятся к первой категории по условиям ответственности за безопасность.

Расстояние между бассейнами – 25 м, габариты каждого бассейна в плане в осях 69,0×118,4 м, заглубление – 6,1 м.

Водонепроницаемость бассейна обеспечивается применением соответствующего класса бетона, а также устройством внутренней и наружной гидроизоляции. Наружные поверхности стен и фундаментной плиты, соприкасающиеся с грунтом, защищают обмазочной гидроизоляцией, представляющей собой однокомпонентное, эластичное, тонкослойное покрытие на основе резинобитумной эмульсии, которая предназначена для гидроизоляции всех типов бетонных конструкций, расположенных ниже уровня грунтовых вод, и защищает от проникновения воды внутрь конструкции. По внутренней поверхности стен и днища предусматривается обмазочная гидроизоляция компонентным покрытием с низким содержанием растворителя на основе эпоксидно-антраценовой масляной композиции с минеральными наполнителями, рекомендованным как защитное покрытие для бетона и стали для заглубленных и погруженных в воду конструкций. Гидроизоляция может наноситься на влажную бетонную поверхность.

Фундамент брызгального бассейна выполняется в виде двух сплошных монолитных железобетонных плит толщиной 1,2 м. Для них принят класс бетона по прочности на сжатие С 20/25, марка по прочности – М350, по водонепроницаемости – W8, по морозостойкости – F200.

Пристенный дренаж выполнен из асбестоцементных перфорированных труб ВТ-9 диаметром 300 мм, тип 2 по ГОСТ 539-80 в оболочке из пористого бетона. Дренажные трубы имеют уклон 0,002. Уклон дрен обеспечивается за счет отсыпки нижнего слоя песка с переменной толщиной. Соединение труб осуществляется муфтами. Дренажная траншея заполняется песком слоем 150–600 мм и щебнем слоем 500 мм; слои разделены геотекстилем Tyrag® SF56 (рис. 2). Сначала укладывают слой песка, затем геотекстиль на который отсыпают щебень, сверху его накрывают геотекстилем внахлест для предотвращения просыпания грунта обратной засыпки в проводящий слой щебня дренажной траншеи. Дренажная труба располагается в слое щебня. Фильтрующая обсыпка вокруг дрен выполнена из щебня крупностью 5–20 мм. Для осмотра на дренажной сети устраивают колодцы.

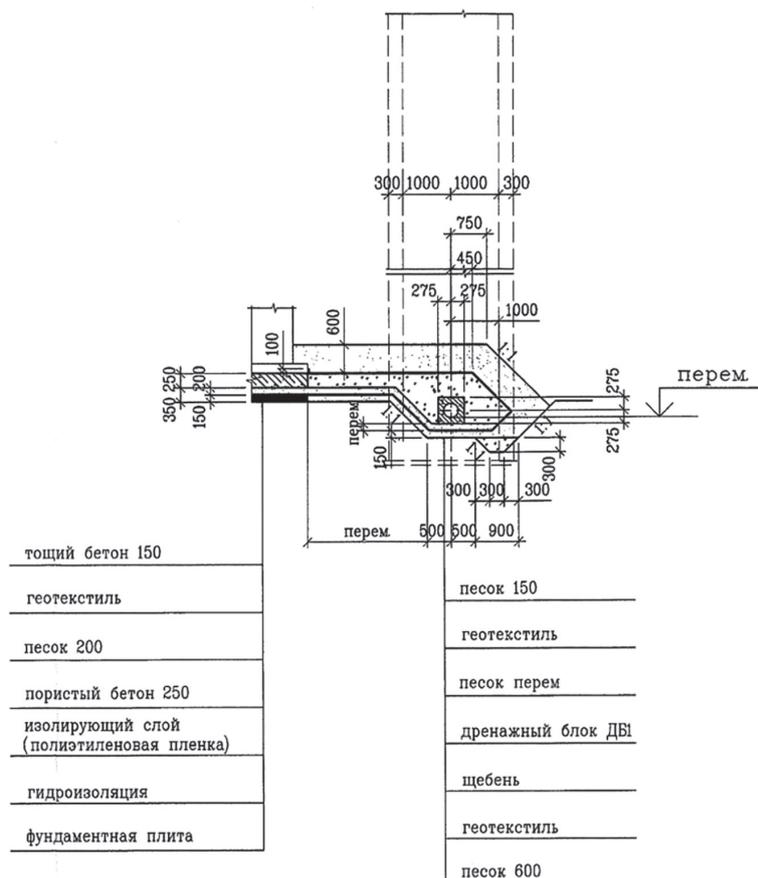


Рисунок 2 – Конструкция пристенного дренажа

Методика расчета

Методика расчета основана на региональных методических документах (РМД) 50-06-2009 [2], формулах С. К. Абрамова [1, 3, 4].

Сначала определяют безопасное расстояние дренажи от наружных стен проектируемого брызгального бассейна:

$$l_{lim} = b + \frac{B}{2} + \frac{H-h}{tg\alpha}, \quad (1)$$

- где b – уширение фундамента, м;
- B – ширина дренажной траншеи, м;
- H – глубина заложения дренажи, м;
- h – глубина заложения фундамента, м;
- α – угол внутреннего трения грунта, град.

Цель расчета – определить зону риска для исключения негативных воздействий на прилегающие здания, инженерную и приповерхностную инфраструктуру.

Расчет горизонтальных трубчатых дренажных устройств, работающих в условиях установившегося режима фильтрации, безнапорных вод и однородной среды следует производить по приведенным ниже расчетным формулам. Расчетный уровень грунтовых вод принимается на основе прогнозных значений многолетнего среднегодового уровня грунтовых вод на площадке строительства [5]. Расчет производят исходя из гидрогеологических условий площадки строительства, фактического проектного положения дренажа.

При неоднородном строении водовмещающей толщи средневзвешенное значение K_{cp} рассчитывают по формуле

$$K_{cp} = \frac{K_1 m_1 + K_2 m_2 + \dots + K_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}, \quad (2)$$

где $K_1 + K_2 + \dots + K_n$ – коэффициенты фильтрации отдельных осушаемых слоев грунта, м/сут.;

$m_1 + m_2 + \dots + m_n$ – мощность соответствующих слоев, м, которую принимают на основе исходных данных и расчетной схемы дренажа.

Область использования формулы (2) ограничивается соотношением коэффициентов фильтрации различных слоев не больше 1:20:

$$K_n : K_{n+1} < 20. \quad (3)$$

Интенсивность просачивания атмосферных осадков определяют с учетом характера грунта, количества выпадающих осадков и степени благоустройства участка застройки. Для территории, где расположены брызгальные

бассейны, ориентировочные значения интенсивности просачивания, согласно [5], следует принимать для районов новой застройки 0,00129 м/сут., старой – 0,00246 м/сут.

Для совершенных дренажей, расчетная схема которых представлена на рис. 3, удельный расход определяют по формуле (4) – для одностороннего притока грунтовых вод:

$$Q_0 = \frac{KH^2}{R}, \quad (4)$$

где R – радиус депрессии дренажа, м, который рассчитывают по формуле (5) или определяют по рис. 4.

$$R = h \sqrt{\frac{K}{2W}}. \quad (5)$$

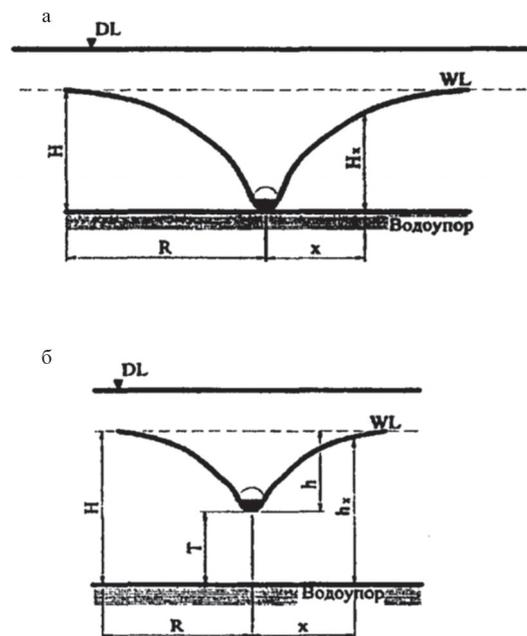


Рисунок 3 – Расчетная схема однолинейного дренажа совершенного типа

Расход дренажных вод для дренажной линии общей длиной L определяют по формуле

$$Q = Q_0 \cdot L. \quad (6)$$

Расход дренажных вод для контурных систем дренажа совершенного типа, расчетная схема которых показана на рис. 5, определяют по формуле

$$Q = \frac{\pi KH^2}{\ln \frac{R}{r_0}}. \quad (7)$$

В том случае, когда r_0 больше R , знаменатель формулы (7) можно принять равным единице.

Приведенный радиус r_0 определяют по формуле $r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$, (8)

а радиус депрессии R – из уравнения $R\sqrt{\ln R - \log r_0 - 0,217} = 0,66\sqrt{\frac{KH^2}{W}} - 0,5r_0$, (9)
 где F – площадь, ограниченная контуром, m^2 .

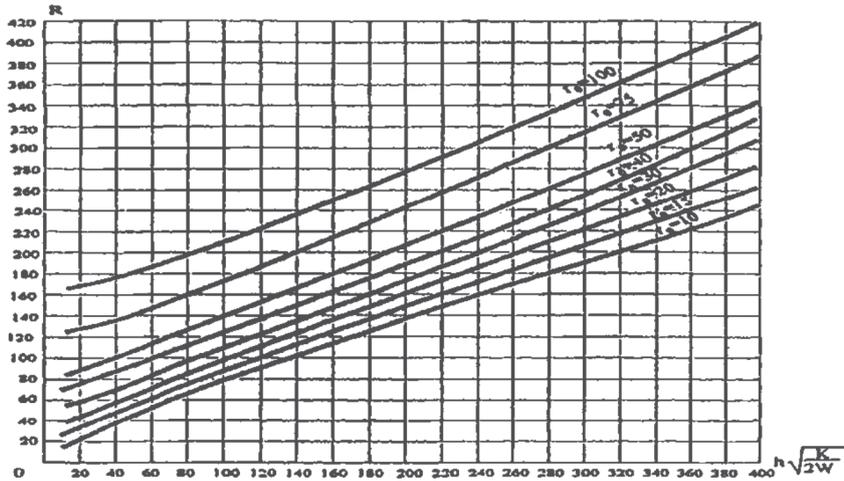


Рисунок 4 – График определения радиуса депрессии контурных дрен

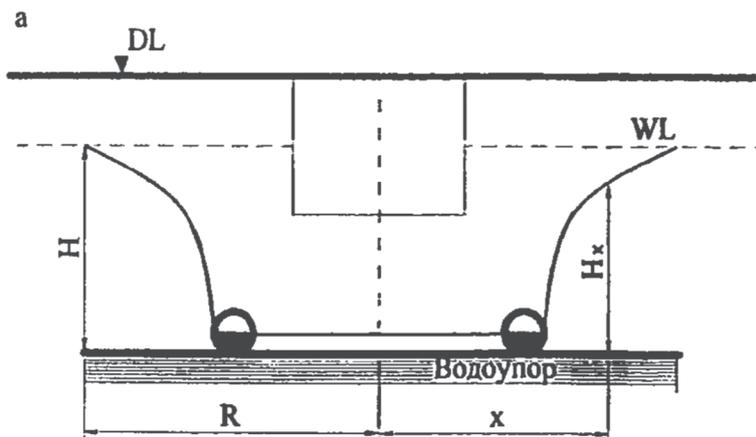


Рисунок 5 – Расчетная схема пристенного дренажа совершенного типа

Данные результатов расчета и лабораторных экспериментов

Расчет притока грунтовых вод к пристенному дренажу брызгального бассейна выполнен в наиболее низкой отметке – минус 6,8 м от поверхности земли по формулам (1, 4–9). Определяем безопасное расстояние дрены от наружных стен проектируемого брызгального бассейна по формуле (1):

$l_{lim} = 0,3 + 1/2 + (6,8 - 6,1) / tg42 = 1,6$ м – при расположении пристенного дренажа на песчаниках;

$l_{lim} = 0,3 + 1/2 + (6,8 - 6,1) / tg18 = 3,0$ м – при расположении пристенного дренажа на суглинках.

Принимаем безопасное расстояние 3,0 м.

Исходя из геометрических размеров бассейна и безопасного расстояния до дрены, определяем приведенный радиус по (8):

$r_0 = \sqrt{\frac{427,6 * 120}{\pi}} = 127,8$ м – для максимального притока.

Чтобы найти R из графика (см. рис. 4), считаем соотношение

$$h \sqrt{\frac{K}{2W}} = 4.2 \sqrt{\frac{1,1}{2 \cdot 0,00246}} = 62,8.$$

Из графика получаем значения R = 190 м. Тогда приток воды к контурному дренажу (7) составит

$$Q = \pi \cdot 1,1 \cdot 4,2^2 / 0,397 = 153,47 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

Водоотводящая способность контурных дрен проявляется в возможности отводить избыточную воду с осушаемой территории. Она зависит от диаметра дрен, материала, из которого изготовлены трубы, величины их шероховатости, уклона дренажных линий, режима работы, наличия подпора, местных сопротивлений потоку воды по длине водоотводящей трубы и других показателей.

Рассчитать теоретически водопримную способность 1 метра трубы с многослойным фильтром пристенного дренажа не представляется возможным из-за невозможности определения средневзвешенного значения коэффициента фильтрации по формуле (2), поскольку не выполняется условие (3): соотношение меж-

ду коэффициентами фильтрации отдельных слоев более 20.

$$K_n : K_{n+1} > 20,$$

поэтому в лабораторных условиях была построена модель и определен расход 1 м трубы.

Для исследования водопримной способности 1 м трубы пристенного дренажа использовались следующие материалы: песок среднезернистый (табл. 2, рис. 6, 7) с коэффициентом фильтрации 15 м/сут. (определен в трубке Г. Н. Каменского), щебень фракции 5–20 мм с $K_\phi \leq 1000$ м/сут. (справочные данные), керамзит фракции 5–10 мм с $K_\phi \geq 500$ м/сут. (справочные данные), геотекстиль TYPAR SF56 с коэффициентом фильтрации 40 м/сут. (определен в фильтрационном приборе ФП-1 типа Дарси).

Определение водопримной способности трубчатой дрены с многослойным разнородным фильтром осуществлялось в грунтовом лотке путем построения физической модели. Лабораторная установка соответствовала по своим параметрам реальной конструкции пристенного дренажа. Схема грунтового лотка приведена на рис. 8.

Таблица 2 – Гранулометрический состав песка среднезернистого

| Диаметр, мм | Проба 1 | | | Проба 2 | |
|-----------------|-------------|----------|--------|----------|--------|
| | Диаметр, мм | Масса, г | % | Масса, г | % |
| 1,6 | 1,6 | 36,161 | 3,616 | 41,5 | 4,15 |
| 1,5 | 1,5 | 16,690 | 1,669 | 22,2 | 2,22 |
| 1 | 1 | 82,058 | 8,208 | 69,6 | 6,961 |
| 0,5 | 0,5 | 318,498 | 31,850 | 245,9 | 24,592 |
| 0,315 | 0,315 | 360,223 | 36,022 | 379,2 | 37,923 |
| 0,2 | 0,2 | 127,955 | 12,796 | 228,1 | 22,813 |
| 0,16 | 0,16 | 6,954 | 0,695 | 1,5 | 0,15 |
| 0,1 | 0,1 | 36,161 | 3,616 | 3 | 0,3 |
| 0,063 | 0,063 | 11,127 | 1,113 | 4,4 | 0,44 |
| 0,05 | 0,05 | 2,782 | 0,278 | 3 | 0,3 |
| <0,05 | <0,05 | 1,391 | 0,139 | 1,5 | 0,15 |
| | | Σ1000 | | Σ1000 | |

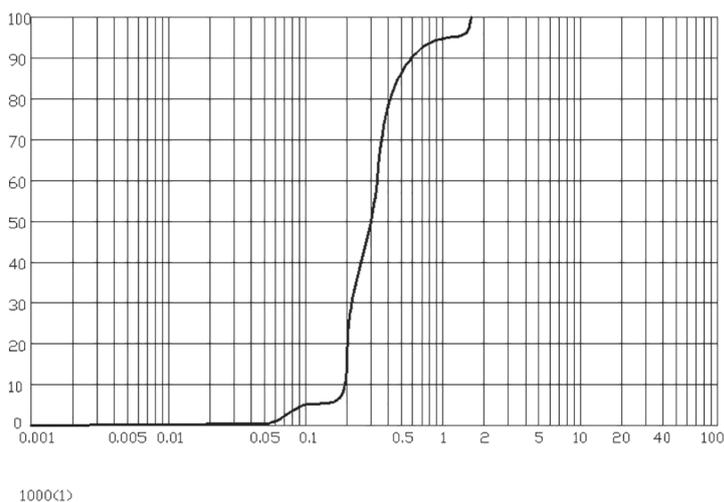


Рисунок 6 – Диаграмма гранулометрического состава песка среднезернистого (проба 1)

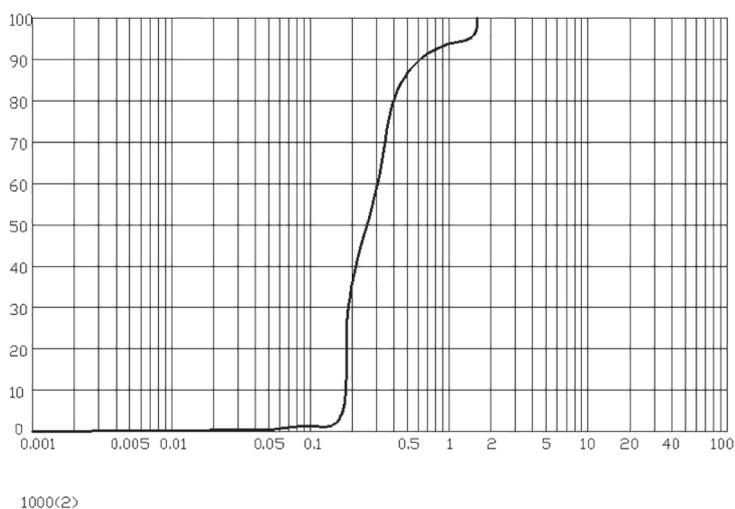


Рисунок 7 – Диаграмма гранулометрического состава песка среднезернистого (проба 2)

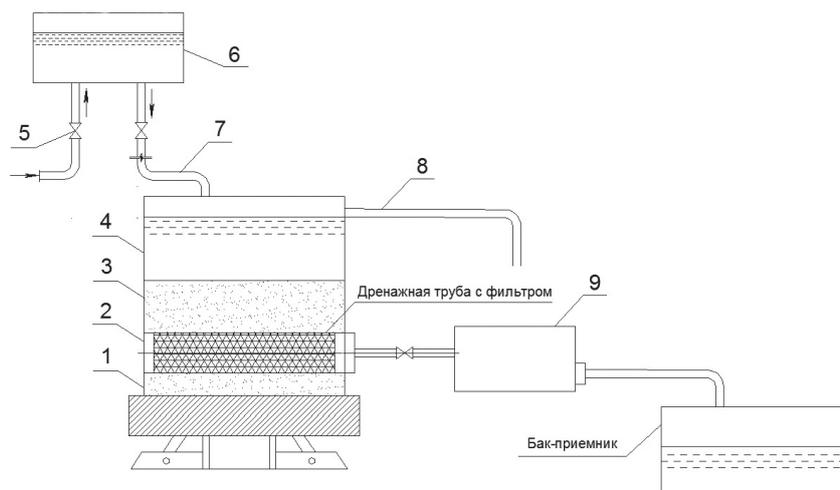


Рисунок 8 – Схема грунтовой лотка

Исследования проводились по следующей схеме. В грунтовой лоток (1) укладывалась полиэтиленовая гофрированная перфорированная труба (2) диаметром 63 мм (площадь перфорации трубы 2 % – 38 см²/м), обернутая

защитно-фильтрующим материалом, затем укладывались слои обратного фильтра (3): щебень или керамзит, геотекстильное полотно в качестве фильтрующей мембраны и песок средней крупности. Лоток заполнялся водой

(4) из напорного бака (6) с помощью регулирующего вентиля (5) по подающему трубопроводу (7), максимум уровня воды регулировался переливной трубой (8). Расход из трубы измерялся в баке-измерителе (9). По изменяющемуся напору над дренажной трубой были построены графики зависимости водоприемной способности от напора (рис. 9).

Проводилось два различных эксперимента, каждый в четырехкратной повторности. Первый эксперимент: в качестве слоев обратного фильтра закладывались в грунтовый лоток щебень фракции 5–20 мм слоем 250 мм, геотекстиль ТУРАР SF56 (один слой материала), песок средней крупности ($K_{\phi}=15$ м/сут.) слоем 150 мм. Получен график зависимости расхода от напора «Керамзит 5-10» (см. рис. 9). Второй эксперимент отличался от первого тем, что керамзит в грунтовом лотке был заменен на щебень фракции 5–20 мм слоем 250 мм, остальные слои те же. Получен график зависимости расхода от напора «Щебень 5-20» (см. рис. 9).

Анализ данных лабораторного эксперимента показывает, что при равном напоре над конструкцией пристенного дренажа больший расход наблюдается у конструкции со щебнем. Например, при напоре 40 см над осью дренажной трубы расход у конструкции с керам-

зитом составил 34 м³/сут., а у конструкции со щебнем – 52 м³/сут., что больше на 18 м³/сут. При напоре 60 см у конструкции с керамзитом расход составил 51 м³/сут., а у конструкции со щебнем – 81 м³/сут., что на 30 м³/сут. больше. Достоверность аппроксимации в двух случаях более чем 0,9 (высокая точность).

Исходя из рассчитанного ранее максимального притока воды к 1 м пристенного дренажа 153,47 м³/сут. рассчитаем отвод ее 1 метром пластового дренажа по полученным эмпирическим формулам. Напор над дренажной трубой принимаем 2 м (согласно данным инженерно-геологических исследований). При использовании керамзита в качестве фильтрующего слоя

$$Q = 77,416H + 2,41 = 77,416 \cdot 2 + 2,41 = 157,24 \text{ м}^3/\text{сут.};$$

при использовании щебня в качестве фильтрующего слоя

$$Q = 93,618H + 8,94 = 93,618 \cdot 2 + 8,94 = 196,18 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Водоотводящей способности и щебня, и керамзита достаточно, чтобы защитить днище сооружения от соприкосновения с грунтовыми водами при заданных инженерно-геологических условиях. Следует отметить, что долговечность предлагаемой конструкции не изучалась на данном этапе исследований.

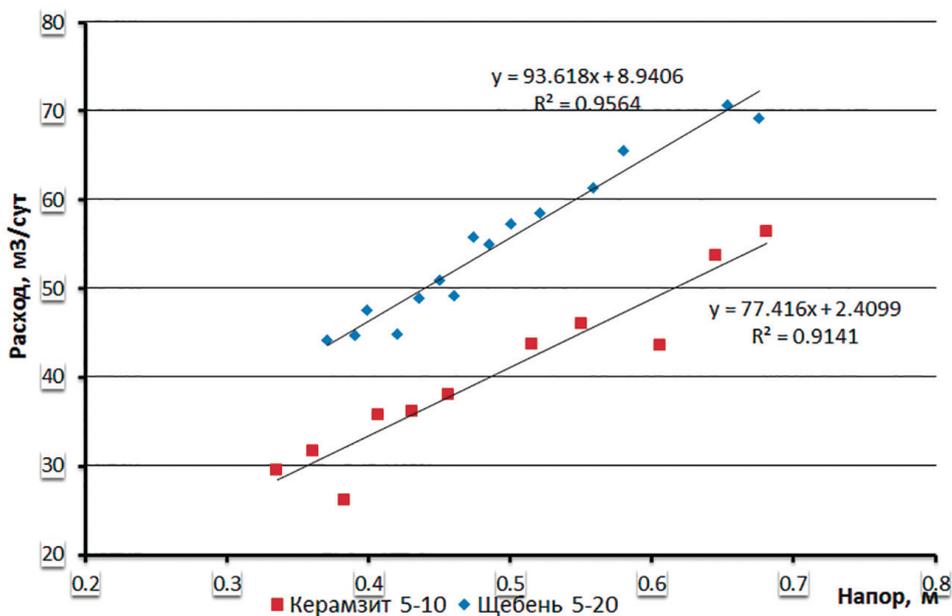


Рисунок 9 – Водоприемная способность 1 м пристенного дренажа

Выводы

Изучены геологические и гидрогеологические условия в районе строительства брызгальных бассейнов. По расчетным формулам С. К. Абрамова определен приток грунтовых вод к пристенному дренажу. Предложена его конструкция с керамзитом в качестве фильтрующего слоя. В лабораторных условиях получены результаты водоприемной способности двух конструкций пристенного дренажа. По эмпирическим формулам рассчитана

величина их водоотводящей способности. Керамзит наряду со щебнем может быть использован в качестве слоя обратного фильтра в пристенном дренаже. При выборе фильтрующих материалов для слоев обратного фильтра следует учитывать гидрогеологические условия места строительства и цели использования зданий и сооружений, защищенных от агрессивного действия подземных вод пристенным дренажем.

Библиографический список

1. Абрамов, С. К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве / С. К. Абрамов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1973. – 280 с.
2. Дренажи в проектировании зданий и сооружений: РМД 50-06-2009. – Санкт-Петербург, 2009. – 31 с.
3. Абрамов, С. К. Дренаж промышленных площадок и городских территорий / С. К. Абрамов, Л. Р. Найфельд, О. Б. Скиргелло. – М. : Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1954. – 428 с.
4. Кольцевые дренажи в промышленном и гражданском строительстве / под общей ред. С. К. Абрамова. – М.: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1971. – 185 с.
5. Подтопление территорий грунтовыми водами при строительстве и их инженерная защита : сб. науч. тр. / ВИНТИ РАН. – М. : ВИНТИ, 1982. – Т. 8. – 110 с.

Поступила 10.06.2019

КЛАССИФИКАЦИЯ ПАВОДКОВ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПРОТИВОПАВОДКОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

А. В. Петроченко, кандидат технических наук

Киевский национальный университет строительства и архитектуры,
г. Киев, Украина

Аннотация

Рассмотрены вопросы паводков как существенной составляющей современной глобальной проблемы воды на планете. Ввиду структурной сложности и необходимости эффективного решения этой проблемы доказана целесообразность классификации паводков и систематизации мероприятий по защите от них. Выполнена классификация паводков различной интенсивности. Разработана системная схема гидротехнических противопаводковых мероприятий. Рассмотрено два типа защиты от паводков: ситуационный и превентивный, а также выделены основные виды ситуационных и превентивных противопаводковых мероприятий. Даны рекомендации по выбору наиболее эффективных вариантов защитных мероприятий на стадии интегрированного управления рисками паводков в бассейнах рек.

Ключевые слова: системный анализ, паводок, классификация паводков, зона риска паводков, типы защиты от паводков, виды защиты от паводков, варианты защиты от паводков.

Abstract

A. V. Petrochenko

CLASSIFICATION OF HIGH WATER AND HIGH WATER PROTECTION MEASURES SYSTEMATIZATION

High water issues as an essential component of the modern global water problem on the planet are considered. In view of the structural complexity and the urgent need for an effective solution to this problem, the expediency of high water classification and protection measures systematization has been proved. The classification of floods of various intensities has been performed. A systematic scheme of hydraulic high water control measures has been developed. Two types of high water protection are considered: situational and preventive, and the main types of situational and preventive high water protection measures are highlighted. Recommendations on choosing the most effective options for protective measures at the stage of integrated high water risk management in river basins are given.

Keywords: system analysis, high water, high water classification, high water risk hot spot, types of high water protection, high water protection options.

Введение

Вода является источником жизни на Земле. В условиях изменения климата и роста населения человечество сталкивается с двумя противоположными по характеру влияния на окружающую среду и жизнедеятельность проблемами: дефицитом воды в засушливых регионах планеты и возникновением ее избытка в бассейнах рек в виде наводнений и паводков [1].

Дефицит воды в Украине обусловлен низким показателем обеспеченности населения собственными водными ресурсами (w). По стандартам Европейской экономической комиссии ООН страна с показателем $w < 1,7$ тыс. м³/год на 1 человека считается необеспеченной собственными водными ресурсами. По данным базы международной экономической статистики *StatInfo.biz* Украина имеет показатель $w = 1,1$ тыс. м³/год на 1 человека.

Среди 68 наиболее крупных стран мира она занимает 54-е место по обеспеченности собственными водными ресурсами [2].

В Украине, несмотря на общий по стране дефицит воды, в северо-западных областях наблюдается ее избыток (в виде паводков). Это объясняется тем, что 70 % речного стока приходится на северо-западные области, где проживает 40 % населения, а 30 % речного стока – на юго-восточные, где проживает 60 % населения и находится 70 % агропромышленного комплекса [3]. В связи с этим распределение обеспеченности регионов Украины собственными водными ресурсами имеет ярко выраженный контрастный характер: в юго-восточных областях острый дефицит воды, а в северо-западных – частые паводки (табл. 1).

Таблица 1 – Обеспеченность регионов Украины собственными водными ресурсами местного речного стока (w , тыс. м³/год на 1 человека)

| Южные области | w | Восточные и центральные области | w | Северо-восточные и северо-западные области | w | Северные и западные области | w |
|------------------|------------|---------------------------------|------------|--|-----------|-----------------------------|-----------|
| Херсонская | 0,3...0,45 | Луганская | 0,45...1,0 | Полтавская | 1,0...2,0 | Черниговская | 2,0...3,0 |
| Одесская | | Харьковская | | Сумская | | Житомирская | |
| Николаевская | | Кировоградская | | Винницкая | | Волынская | |
| Запорожская | | Черкасская | | Хмельницкая | | Ивано-Франковская | 3,0...7,0 |
| Донецкая | | Киевская | | Черновицкая | | | |
| Днепропетровская | | | | Тернопольская | | Закарпатская | |
| | | | Львовская | | | | |
| | | | Ровенская | | | | |

В наиболее острой форме проблема паводков проявляется в Карпатском регионе, где они носят наиболее разрушительный характер и могут повторяться 3–5 раз в год.

Появление паводков зависит от различных природных и техногенных причин. Также многочисленные факторы влияют на их характер и последствия прохождения. В связи с этим существует множество альтернативных способов и средств противопаводковой защиты. Известно, что эффективное решение сложной проблемы следует начинать с ее анализа и систематизации. Это применительно и к паводкам. В связи с тем,

Оценка и классификация паводков

Наводнение, половодье и паводок относят к опасным для жизнедеятельности человека природным явлениям, которые проявляются в подъеме уровня воды и затоплении территорий в поймах рек. В исследованиях вредного действия поверхностных вод в речных бассейнах термины «наводнение», «половодье» и «паводок» применяют следующим образом.

Наводнение – значительное затопление водной местности в речном бассейне в результате подъема уровня воды в реке.

Половодье – фаза водного режима реки, которая наблюдается ежегодно, наступает в один и тот же сезон и характеризуется зна-

что решение их проблемы имеет большое социальное, экологическое и народнохозяйственное значение, необходимо проводить исследования по классификации паводков, систематизации и оптимизации мер противопаводковой защиты.

Цель работы – совершенствование научно-методологических основ и методического инструментария разработки проектов эффективной защиты от паводков в бассейнах рек путем их классификации и систематизации противопаводковых мероприятий.

Методологической основой исследования является системный анализ.

чительным повышением уровня воды в реке вследствие весеннего таяния снега.

Паводок – фаза водного режима реки, которая характеризуется относительно кратковременным поднятием уровня воды в реке во время ливневых дождей, аварий на гидротехнических сооружениях, интенсивного таяния снегов при оттепелях.

Для общности изложения будем далее по тексту использовать для описания явлений общий термин «паводок».

Основной физической параметр паводка, который непосредственно определяет его вредное действие в бассейне реки, – его ин-

тенсивность. Чем она больше, тем более разрушительное действие и значительные убытки может нанести паводок.

Интенсивность паводка в расчетном створе русла реки определяют путем сравнения максимального расхода воды Q_{max} в паводковый период и расхода воды $Q_{меж}$ в меженный период двумя способами. По первому способу интенсивность паводка η_a определяют в виде разницы расходов воды Q_{max} и $Q_{меж}$:

$$\eta_a = Q_{max} - Q_{меж} \quad (1)$$

Более полную характеристику вредного действия паводка дает показатель его интенсивности η_n , определенный по второму способу в виде отношения расхода воды Q_{max} к расходу $Q_{меж}$:

$$\eta_n = Q_{max} / Q_{меж} \quad (2)$$

В гидрологии интенсивность паводка принято определять показателем его обеспеченности [4]. Для этого в каждом m -м году прошедшего периода наблюдений учитывают максимальные расходы воды Q_m в расчетном створе реки, которые размещают в ряд (3) в порядке их последовательного уменьшения:

$$Q_1 \geq Q_2 \geq Q_3 \geq \dots \geq Q_m \geq \dots \geq Q_{n-1} \geq Q_n, \quad (3)$$

где m – порядковый номер года в ряду;

n – количество лет наблюдений в ряду.

Обеспеченность паводка p_m в m -м году определяют как вероятность (в процентах) превышения расхода воды Q значения Q_m ($Q > Q_m$) по формуле:

$$p_m = \frac{m}{n+1} \cdot 100\% \quad (4)$$

Если предположить, что наблюдения выполняли на протяжении 100 лет ($n = 100$), формула (4) приобретет вид:

$$p_m = \frac{m}{100+1} \cdot 100\% \cong \frac{m}{100} \cdot 100\% = m_{(100)}, \quad (5)$$

где $m_{(100)}$ – количество паводков обеспеченности p_m , которые могут повторяться в течение 100 лет.

Тогда через показатель обеспеченности паводка p_m , определенный по формуле (4) в процентах, можно рассчитать вероятный период времени t_m (количество лет), через который такой паводок будет повторяться:

$$t_m = 100 / m_{(100)} = 100 / p_m \quad (6)$$

Использование показателя p_m , рассчитанного по формуле (5), дает возможность выделить пять характерных классов паводков в порядке увеличения их интенсивности (табл. 2).

Таблица 2 – Классификация паводков по показателю их обеспеченности p_m

| Обеспеченность паводка p_m , % | Количество паводков на протяжении 100 лет, $m_{(100)}$ | Вероятный период повторения t_m , лет | Класс паводка | Характерное название паводка |
|----------------------------------|--|---|---------------|------------------------------|
| 100 | 100 | 100/100=1 | 1 | Малый (ежегодный) |
| 25 | 25 | 100/25=4 | 2 | Средний |
| 5 | 5 | 100/5=20 | 3 | Большой |
| 2 | 2 | 100/2=50 | 4 | Катастрофический |
| 1 | 1 | 100/1=100 | 5 | Особо выдающийся |

Систематизация противопаводковых мероприятий

В результате проведенных исследований основных принципиальных решений защиты от паводков противопаводковые мероприятия систематизированы и представлены на схеме (табл. 3).

Представленную системную схему предложено использовать в процессе интегрированного управления рисками паводков в бассейнах рек для последовательного обоснования и выбора типа противопаводковой защиты,

вида противопаводковых мероприятий, а также наиболее эффективного варианта их выполнения. Высокая эффективность противопаводковых мероприятий достигается путем перебора и анализа их вариантов с использованием предложенной в работе [5] целевой функции

$$I_3 = \frac{ПУ_1}{З_1} \rightarrow \max, \quad (7)$$

где I_3 – индекс эффективности варианта мероприятий; $ПУ_1$ – общий предотвращенный социальный, экологический и экономический ущерб, определенный в денежных единицах как положительный эффект от применения на протяжении одного года варианта противопаводковых мероприятий; $З_1$ – общие затраты в денежных единицах, необходимые на выполнение варианта мероприятий на протяжении одного года.

Таблица 3 – Системная схема противопаводковых мероприятий

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|--|------------------------------|--|-----------------------|----------------------------|---------------|-------------------|
| Управление рисками паводков | Обоснование мер защиты от паводков | | Тип противопаводковой защиты | | | | | |
| | Реагирование на паводки | Прогноз паводков | Ситуационный | | | Превентивный | | |
| | | | Краткосрочный | | | Долгосрочный | | |
| | | Выполнение противопаводковых мероприятий | Виды мероприятий | Предупредительные | Аварийно-спасательные | Аварийно-восстановительные | Адаптационные | Водно-ландшафтные |
| Порядок выполнения | Последовательное выполнение всех видов ситуационных мероприятий в едином процессе защиты от паводков | | | Выполнения одного из видов превентивных мероприятий, выбранного по результатам обоснования их технической надежности и экономической эффективности | | | | |

На первом этапе управления рисками паводков выбирают тип противопаводковой защиты: ситуационный и превентивный. В соответствии с ним все противопаводковые мероприятия также делят на ситуационные и превентивные. Различие между ними состоит в следующем. Противопаводковые мероприятия ситуационного типа (ситуационные мероприятия) осуществляют для защиты территории от определенного фиксированного паводка, в результате которого на ней возникает чрезвычайная ситуация. Ситуационные мероприятия выполняют в период приближения, прохождения и окончания паводка. Противопаводковые мероприятия превентивного типа (превентивные мероприятия) выполняют для защиты территорий в бассейнах рек от многих паводков, которые могут происходить

в будущем. Защитный противопаводковый эффект комплекса превентивных мероприятий обеспечивается в течение достаточно длительного периода времени после их выполнения. Выбор ситуационного или превентивного типа противопаводковой защиты следует производить после исследования видов противопаводковых мероприятий и альтернативных вариантов их выполнения по величине индекса эффективности мероприятий. Если определенный с использованием целевой функции (7) индекс эффективности I_3^c варианта выполнения ситуационных мероприятий будет больше индекса эффективности I_3^n варианта выполнения превентивных мероприятий ($I_3^c > I_3^n$), принимают ситуационный тип защиты от паводков. В случае, если $I_3^c < I_3^n$, в бассейне реки осуществляют превентивный тип защиты.

На втором этапе управления рисками паводков выполняют прогнозирование паводков. Если предусмотрены ситуационные противопаводковые мероприятия, осуществляется краткосрочное прогнозирование, а в случае превентивных мероприятий – долгосрочное.

Выполнение краткосрочных прогнозов основано на применении различных методов научного прогнозирования паводковой опасности, по которым определяют уровень паводковых вод и расход воды в реке в период прохождения паводка. С гидрологической точки зрения краткосрочное прогнозирование – один из видов гидрологических прогнозов, по которым предупреждения о приближении паводковой опасности можно получить не более чем за 12–15 дней до наступления паводка. Методы краткосрочного прогнозирования базируются на использовании закономерностей движения воды в руслах рек и притока (стока) воды на исследуемых участках русел. Основу исследований составляют расчеты трансформации водного потока во время его прохождения отдельных участков русел. В итоге выдается информация об ожидаемых максимальных расходах и уровнях воды. Результатом краткосрочных прогнозов является гидрограф притока воды в реку.

Долгосрочное прогнозирование паводков в бассейнах рек является основой для расчета индекса эффективности I_3^n варианта превентивных мероприятий и последующего принятия решения о целесообразности его применения. Долгосрочное прогнозирование состоит из двух частей: прогнозирование паводков по гидрологическим показателям и величине убытков. Гидрологические прогнозы выполняют для установления в будущем вероятных гидрологических показателей паводков в речных бассейнах: уровней воды в реках и расходов паводковых потоков. Долгосрочные прогнозы паводков по величине убытков выполняют для установления возможных социальных, экологических и экономических убытков от паводков, которые следует ожидать в будущем в случае невыполнения превентивных мероприятий. Принципиальные основы научно-методического инструментария, позволяющего составить долгосрочные прогнозы по гидрологическим показателям и величине убытков, приведены в [6]. В качестве основ-

ного методологического принципа долгосрочного прогнозирования был принят учет и анализ последствий паводков в речных бассейнах в прошедший период с целью определения убытков от паводков, которые следует ожидать в будущем, если не предпринимать превентивных мер защиты.

На третьем этапе управления рисками паводков определяют вид противопаводковых мероприятий и порядок их выполнения, пользуясь системной схемой (табл. 3).

В системе противопаводковой защиты ситуационного типа различают три вида противопаводковых мероприятий: предупредительные, аварийно-спасательные и аварийно-восстановительные. Характерной особенностью ситуационных противопаводковых мероприятий является то, что в процессе защиты от паводков выполняют все три вида этих мероприятий последовательно по мере приближения, прохождения и окончания паводка. Предупредительные мероприятия (работы) выполняют до наступления паводка на основе предварительно полученных краткосрочных прогнозов. Аварийно-спасательные мероприятия (работы) выполняют в течение всего периода прохождения паводка. Аварийно-восстановительные мероприятия (работы) выполняют по окончании паводка.

В системах противопаводковой защиты превентивного типа различают также три вида мероприятий: адаптационные, водно-ландшафтные и гидротехнические, которые выполняют с целью минимизации, а в некоторых случаях – полного предотвращения убытков от паводков в бассейнах рек.

Адаптационные мероприятия выполняют путем приспособления (адаптации) к действию паводков территорий и объектов в зонах риска. Водно-ландшафтные мероприятия осуществляют путем изменения условий формирования паводкового стока на площадях водосбора рек. Гидротехнические мероприятия выполняют с помощью гидротехнических сооружений, которые используют для защиты от паводков территорий и объектов в бассейнах рек путем регулирования движения паводковых потоков.

На четвертом этапе управления рисками паводков для каждого типа и вида противопаводковых мероприятий определяют наи-

более эффективные варианты их выполнения, используя целевую функцию (7).

В состав трех видов ситуационных противопаводковых мероприятий входит стандартный набор работ. Поиск наиболее эффективных вариантов осуществляют главным образом путем оптимизации качественных и количественных параметров рекомендуемого набора предупредительных, аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ, учитывая при этом интенсивность паводка и местные условия.

Тогда как все виды ситуационных противопаводковых мероприятий обязательны и выполняются поэтапно в едином процессе реагирования на паводки, превентивные противопаводковые мероприятия являются альтернативными как на третьем этапе управления рисками паводков (выбор вида мероприятий), так и на четвертом (выбор вариантов выполнения мероприятий). Для каждой зоны риска паводков выбирают один из видов превентивных мероприятий и вариантов мероприятий этого вида.

К основным вариантам адаптационных превентивных противопаводковых мероприятий относят:

- вынос жилых зданий и хозяйственных построек за пределы зоны риска паводков;
- строительство домов и некоторых хозяйственных построек на сваях;
- приспособление промышленного производства к условиям периодического затопления;
- трансформацию сельскохозяйственных угодий, например выращивание многолетних трав и других культур, которые выдерживают временное затопление.

Основными вариантами водно-ландшафтных превентивных противопаводковых мероприятий являются:

- посадка на пути формирования паводковых потоков лесополос;
- создание прудов-накопителей;
- заболачивание территории;
- создание лесных массивов.

Гидротехнические противопаводковые мероприятия являются основными и наиболее эффективными среди других видов превентивных мероприятий. Они отличаются большим количеством альтернативных вариантов их выполнения. Варианты гидротехнических про-

тивопаводковых мероприятий образуются по схеме, приведенной на рис. 1 в виде различных комбинаций функциональных и технологических альтернатив. С позиций системного анализа выделено три функциональные альтернативы гидротехнических противопаводковых мероприятий.

Первой функциональной альтернативой Φ_1 является ускорение движения и увеличение расхода паводковых вод в руслах рек с целью уменьшения или недопущения подъема уровня воды в реках, проходящих в зонах риска паводков. Функциональной альтернативе Φ_1 соответствует три технологические альтернативы: спрямление русел рек (T_1); крепление русел рек (T_2); наращивание берегов рек (T_3).

Второй функциональной альтернативой Φ_2 является замедление движения и временная задержка части паводковых вод в руслах, долинах и поймах рек перед зонами риска. При этом достигается та же цель, что и при выполнении Φ_1 . Функциональной альтернативе Φ_2 соответствует четыре технологические альтернативы: устройство в руслах рек водорегулирующих порогов и полузапруд (T_4); строительство в руслах горных рек аккумулирующих водохранилищ (T_5); строительство ограждающих дамб для защиты от затопления территорий в зонах риска паводков (T_6); строительство водохранилищ и польдерных систем летнего типа в долинах и поймах рек (T_7).

В качестве третьей функциональной альтернативы Φ_k принимается комбинация Φ_1 и Φ_2 . Комбинированной технологической альтернативой T_k , соответствующей комбинированной функциональной альтернативе Φ_k , является строительство гидротехнических объектов и систем комплексной защиты от паводков в бассейнах рек. Целесообразность комбинации функциональных альтернатив Φ_1 и Φ_2 подтверждается возможностью снижения общих затрат на строительство комплексных систем защиты от паводков, что достигается оптимизацией их параметров методом бифуркации базиса, приведенным в работе [5].

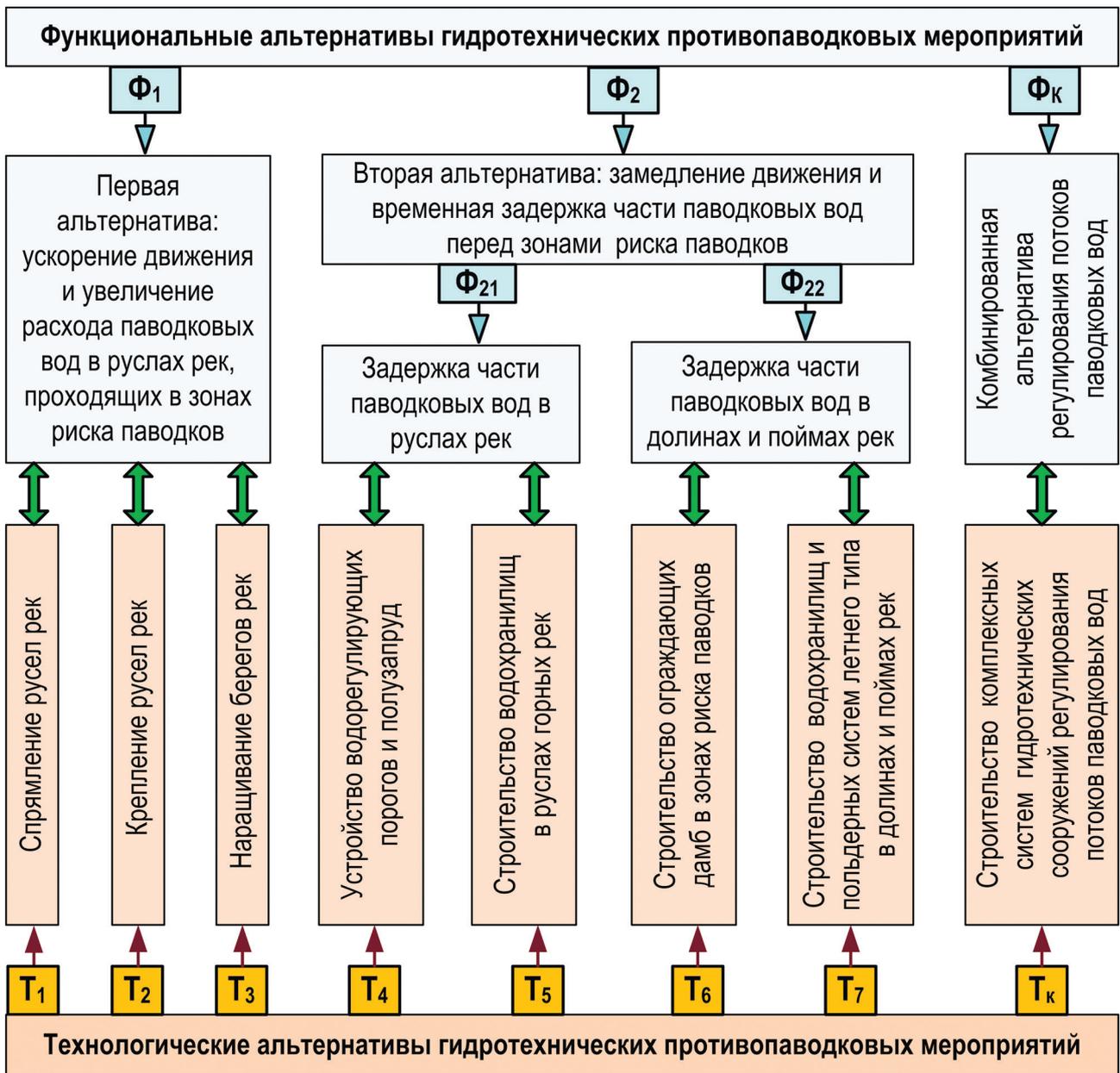


Рисунок 1 – Системная схема гидротехнических противопаводковых мероприятий

Заключение

Паводки являются частью общей проблемы воды на планете, которая в современных условиях развития человеческой цивилизации относится к числу глобальных. Сложность этой проблемы обусловлена тем, что паводки могут возникать по различным причинам природного и техногенного характера. Существует множество альтернативных способов и средств защиты от паводков.

Для усовершенствования научно-методологических основ и методического инструментария эффективного решения актуальной проблемы паводков выполнены исследования

по классификации паводков и систематизации противопаводковых мероприятий. В зависимости от показателя обеспеченности паводков выделено пять характерных классов паводков в порядке увеличения их интенсивности. Разработана и обоснована системная схема противопаводковых мероприятий, которую на стадии интегрированного управления рисками паводков в бассейнах рек предложено использовать путем последовательного обоснования и выбора типа противопаводковой защиты, вида противопаводковых мероприятий, а также наиболее эффективного варианта их выпол-

нения. На основе выделения и комбинации функциональных и технологических альтернатив превентивной защиты от паводков в бас-

сейнах рек разработан и систематизирован комплекс вариантов гидротехнических противопаводковых мероприятий.

Библиографический список

1. Петроченко, А. В. Проблема дефицита воды и паводков в Украине / А. В. Петроченко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 3 (71). – С. 133-140.
2. StatInfo.biz: международная экономическая статистика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://statinfo.biz/Data.aspx?act=6467&lang=1>.
3. Петроченко, А. В. Инновационные решения подготовки воды в системах сельскохозяйственного водоснабжения и орошения / А. В. Петроченко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3 (63). – С. 142-150.
4. Самохин, А. А. Практикум по гидрологии / А. А. Самохин, Н. Н. Соловьева, А. М. Догановский. – Л. : Гидрометеоиздат, 1980. – 296 с.
5. Петроченко, В. И. Оптимизация проектных решений защиты от паводков в речных бассейнах / В. И. Петроченко, А. В. Петроченко // Мелиорация. – 2019. – № 2 (88) – С. 26-33.
6. Петроченко, В. И. Научно-методическое обоснование систем превентивной противопаводковой защиты территорий в бассейнах рек / В. И. Петроченко, А. В. Петроченко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 2 (110): Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика – С. 44-48.

Поступила 05.09.2019

МЕТОД ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ПОЛЬДЕРНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ С СИФОННЫМИ ВОДОСБРОСАМИ

Э. Н. Шкутов, кандидат технических наук

В. П. Иванов, кандидат технических наук

РУП «Институт мелиорации»,
г. Минск, Беларусь

Аннотация

Рассмотрена методика оперативной оценки актуальных расходов насосов и к.п.д. электромеханических насосных агрегатов польдерных насосных станций с сифонными водосбросами. Приведен пример ее практического применения на активно работающей насосной станции.

Ключевые слова: насосные станции, сифонные водосбросы, измерение расходов откачки.

Abstract

E. N. Shkutov, V. P. Ivanov
**METHOD FOR ESTIMATING THE
PERFORMANCE OF PUMP UNITS OF POLDER
PUMPING STATIONS WITH SIPHON SPILLWAYS**

The technique of operational assessment of relevant expenses of pumps and efficiency of electromechanical pump units of polder pumping stations with siphon spillways is considered. The example of its practical application on actively working pump is given.

Keywords: pump stations, siphon spillways, measurement of expenses of pumping.

Введение

В сельскохозяйственном производстве Беларуси используется более 250 тыс. га. пойменных земель, осушенных польдерными системами. Откачка воды обеспечивается около 500 насосными станциями. Ежегодное потребление электроэнергии польдерными насосными станциями в средние по водности годы составляет 20 млн кВт·ч в год (удельная величина затрат на конкретных объектах сильно зависит от водности года, конструкции системы и состояния оборудования).

Большинство насосных станций эксплуатируется уже порядка 40–45 лет, износ оборудования близок к 100 % от нормативных сроков. Это состояние угрожает не только их выходом из строя в периоды весенне-летних паводков, когда требуется почти круглосуточная их работа, но и перерасходом энергии на обеспечение требуемого водного режима в близкие к среднемуголетним показателям годы из-за работы насосных агрегатов в зоне низких коэффициентов полезного действия (далее – КПД) по причине высокой изношенности.

Для повышения эффективности работы насосных агрегатов польдерных систем важно своевременно их обслуживать и ремонтировать. Результаты обследования насосных станций и системы поддержания их работоспособности [1] позволили сделать вывод, что мелиоративная отрасль при всех сопутствующих недостатках и просчетах все же по мере возможностей работала над повышением эффективности их работы [2].

На практике операторы, длительное время работающие на интенсивно используемых насосных станциях, могут в любой момент представить свою, субъективную, но близкую к фактической сравнительную оценку функционального состояния каждого агрегата своей станции. Однако эта оценка чаще всего не является решающим аргументом для специалистов предприятий мелиоративных систем (ПМС), принимающих решения об остановке и ремонте насосных агрегатов. Чаще всего насосные агрегаты мелиоративных польдерных станций выводятся на ремонт только после

наступления фазы очевидной неработоспособности, которому предшествует длительный период работы насоса с низким КПД. Этот подход приводит к перерасходу электроэнергии и другим затратам на поддержание требуемого водного режима на площадях польдерных систем.

Выбор момента для проведения ремонта, например, по прошествии заданного времени после предыдущего ремонта, также может содержать значительные погрешности в оценке степени износа механических частей насоса. Ускоренный износ может вызываться прокачкой больших объемов воды, содержащих водные растения и ракушки, которые являются эффективными абразивными материалами, вызывающими ускоренный износ крыльчаток и корпусов насосов.

Очевидно, что наиболее обоснованным было бы решение о необходимости проведения ремонта, принятое по данным объективных измерений расходов и определения актуального фактического КПД. Однако задача осложняется многообразием конструкций польдерных насосных станций, обуславливающим необходимость применения существенно различающихся методик и средств измерения.

Цель исследований

Необходимо разработать малозатратную методику оценки расходов и, соответственно, КПД насосных агрегатов с сифонными водосбросами (схема такого варианта конструкции насосной станции представлена на рис. 1), уточнить применяемые в ней константы и обосновать принципиальную допустимость ее применения в производственных условиях.

Методика разработана и использовалась авторами при выполнении НИР для оценки сезонных объемов откачки польдерными насосными станциями в южной и центральной частях РБ.

Следует отметить, что такой вариант водосброса (рис. 1) оказался достаточно эффективным для природных условий Беларуси. Вследствие этого схема широко распространена в проектных решениях, и предлагаемая разработка может быть полезна широкому кругу производственных организаций и научных работников.

Это увеличивает стоимость требуемого набора оборудования для измерения расходов до недоступного для отрасли уровня, несмотря на то, что в настоящее время имеются рыночно доступные технические и методические возможности.

Тем не менее в Республике Беларусь за более чем 40 лет массового использования осушительных польдерных систем так и не была сформирована служба определения расходов воды откачиваемой мелиоративными польдерными насосными станциями, например, по запросам эксплуатирующих предприятий, хотя это решение неоднократно пытались реализовать [2]. Очевидно, высокая стоимость оборудования и самих измерений расходов оказалась при принятии решения более весомым аргументом, чем необходимость объективной оценки объемов откачиваемой воды и КПД насосных агрегатов.

Таким образом, на данный момент актуальной задачей является разработка недорогих, простых в исполнении методик и технологий, которые позволят сотрудникам эксплуатирующих организаций объективно оценивать эффективность работы насосных агрегатов на польдерных системах.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования являлись способы формирования меток из воздушных пузырьков и динамика их перемещения в водном потоке ниспадающих ветвей сифонных водосбросов насосных станций.

Основным методом исследования и обоснования возможности применения разработанной методики в практике научных исследований и производственной деятельности являлись физическое моделирование и полевые исследования гидравлических условий ниспадающих ветвей сифонных водосбросов.

Расход насосного агрегата определяется по известной формуле

$$Q_i = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot L}{4 \cdot t}, \quad (1)$$

где: d – внутренний диаметр сбросного трубопровода, м;

L – длина участка трубопровода между контрольными сечениями сбросного трубопровода, м;

t – время прохождения участка центром тяжести метки, с.

В основу разработки методики было положено следующее наблюдение: с помощью клапана срыва вакуума на сифонном водосбросе можно создавать в потоке сбрасываемой воды заметную метку из совокупности воздушных пузырей (рис. 2, а), выход которой из сбросного водовода наблюдается в водоприемнике (рис. 2, б).

Для практического использования методики потребовалось уточнить значения нескольких параметров.

1. Как долго следует держать открытым клапан срыва вакуума? За это время необходимо создать на выходе трубы водосброса заметную группу пузырей – значит, чем дольше, тем лучше. Однако при долгом принудительном его открытии нарушается работа сифона. Опытами на нескольких насосных станциях было установлено приемлемое значение данного параметра – 3–5 с. За это время создается заметный

выброс воздуха, а режим работы сифона не нарушается.

2. На выходе из сбросного трубопровода до появления на поверхности воды пузыри метки преодолевают глубину погружения щелуги водосброса под уровень воды в отводящем канале (не менее 0,3 м, иначе не работает сифон, и не более 2 м – типичное максимальное заглубление сбросного трубопровода насосных станций в поймах рек Республики Беларусь).

Процесс подъема пузырей даже в спокойной стоячей воде представляет собой сложный многофакторный процесс. По опубликованным данным [3], влиянием изменения атмосферного давления и содержанием солей в откачиваемой воде, из-за незначительности вносимых отклонений, можно пренебречь. Скорость в большей мере зависит от температуры (вязкости) воды (если ее не учитывать, погрешность может составить до 50 % от времени подъема пузырей к поверхности).

Скорость подъема пузырей также существенно зависит от их диаметра, причем зависимость имеет сложный неоднозначный характер. На рис. 3 представлен пример вида этой зависимости, полученный экспериментально [3]. В проведенном нами эксперименте на физической модели, имитировавшей подъем пузырей в трубе, получены результаты, совпадающие с данными рис. 3 (скорость всплытия в стоячей воде составила 0,15 м/с).



Рисунок 2 – Формирование метки (воздушных пузырей) с помощью кратковременного открытия клапана срыва вакуума в сифонном водосбросном водоводе насосной станции системы «Гало-Ковалевская»

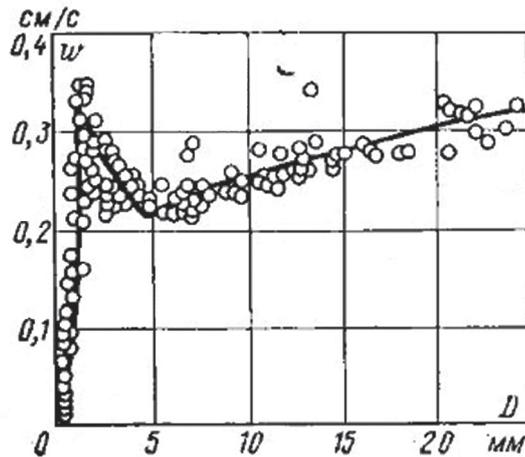


Рисунок 3 – Скорость всплытия воздушных пузырей в воде, в зависимости от их диаметра (0,1 МПа, $\approx 20^\circ\text{C}$)

Однако в рассматриваемой конструкции речь идет о всплытии стохастически формирующегося широкого спектра диаметров пузырей: от миллиметровых до 0,5 м. Кроме того, процесс происходит в очень бурном и резко замедляющимся турбулентном потоке, в практически стоячей воде водоприемника. Скорости перемещения турбулентных вихрей и пузырей в зоне выхода потока из сбросных труб на порядок выше скоростей всплывания, обычно в 7–8 раз. То есть, если не учитывать увеличение времени фиксации на период перемещения пузырей к поверхности, ошибка определения скорости потока может составить 12–14 %.

Экспериментальных данных опытов с такими гидравлическими условиями и геометрическими размерами пузырей, как на выходе сбросных трубопроводов насосных станций в публикациях не выявлено. Точное определение фактических диаметров пузырей в полевых условиях весьма затруднено, поэтому измерение размера всплывающих пузырей в предлагаемой методике не предусмотрено. Для практических целей использовались не результаты теоретических расчетов, а экспериментальные данные наблюдений в производственных условиях.

На насосной станции, где проводились исследования, глубина верха сбросных труб составляла 1,6–2 м (в зависимости от сезона). Время подъема пузырей с такой глубины – 2,5–3 с, средняя скорость их подъема в летних условиях – 0,6 м/с при температуре воды 17°C .

При отклонениях температуры воды в расчеты рекомендуется вносить поправочный коэффициент

$$V_{\text{под}}(T) = 0,6 \cdot K(T), \quad (2)$$

где: $V_{\text{под}}(T)$ – скорость подъема в зависимости от температуры воды, м/с;

0,6 – скорость подъема пузырей, определенная экспериментально при температуре воды 17°C , м/с;

T – температура воды в момент определения производительности насосов, $^\circ\text{C}$;

$K(T) = 0,6309 \cdot \exp(0,0262 \cdot T)$ – поправочный коэффициент к скорости, определенной для температуры воды 17°C . Он получен по зависимостям динамической вязкости от температуры воды [4].

При изменении температуры воды от 4 до 25°C скорость подъема пузырей воздуха увеличивается с 0,4 до 0,7 м/с. Время подъема с глубины 2 м по сравнению со средним изменится максимум на 1,7 с.

Таким образом, если не учитывать изменение температуры воды, а использовать среднее значение скорости подъема пузырей метки, максимальная погрешность определения скорости потока в сбросной трубе насоса от неучета изменения температуры воды составит около 8–12 %. Однако, если не измерять температуру и не рассчитывать скорости подъема, а сразу вводить поправку на сезон (весной, осенью – принимать скорость подъема пузырей 0,5, летом – 0,7 м/с), то погрешность снизится до 4–6 %. Такой погрешностью для практических нужд уже можно пренебречь и с целью упрощения процедуры отказаться от измерения температуры воды при определении расходов откачки.

3. В основу рассматриваемой методики было положено допущение, что пузыри метки перемещаются со скоростью потока. Справедливость этого была проверена на физической модели (схема приведена на рис. 4).

Ниспадающая ветвь сбросной трубы сифона насосной станции «Гало-Ковалевская», где проводилась основная часть экспериментальной работы, моделировалась стеклянной трубкой диаметром 20 мм. Геометрически профиль ветви в масштабе 1:1 повторял профиль и длину сбросной трубы насосной станции. Расход подобран таким образом, чтобы скорость потока на модели была идентична скоростям в водосбросной трубе насосной (≈ 3 м/с).

Эксперимент состоял в одновременном введении в поток окрашенной воды и пузырьков воздуха с последующем отслеживании синхронности их перемещения по трубке с помощью видеосъемки (рис. 4).

Многочисленные повторения опыта позволили зафиксировать факт, что пузырьки во всех случаях находились в пределах метки из окрашенного объема воды. Отклонение от центра тяжести метки из окрашенной воды составляло несколько десятых долей секунды. Значительная часть этого отставания, возможно, связана с тем, что обе метки вводились из одного шприца, поэтому воздух поступал в поток в конце процесса ввода метки. Возможная погрешность из-за отставания метки из пузырьков в десятки раз меньше возможных ошибок по времени регистрации начала и конца выхода метки на поверхность воды сбросного канала. Поэтому на практике можно использовать метки из пузырьков при измерении скорости потока в трубах сифонных водосбросов польдерных насосных станций без введения в расчет корректирующих коэффициентов или зависимостей.

Пример определения расхода откачиваемого насосной станцией с сифонным водосбросом

На мелиоративной польдерной системе «Гало-Ковалевская» проводились гидрологические исследования. Для расчета баланса притоков и оттоков воды важной составляющей являлись объемы откачек насосной станцией из открытой сети польдера. Потребовались достоверные данные о расходах откачек. Для их получения и была разработана рассматриваемая методика.

Приток воды к насосной станции наблюдается круглый год. Поэтому она с разной интен-

сивностью, работает круглогодично. На рис. 5 приведена диаграмма суточных откачек за 2016–2018 гг. Насосные агрегаты имели разную степень износа, периодически извлекались с мест установки для ремонтов, после которых изменялись их характеристики, поэтому для получения достоверных данных по объемам откачиваемой воды важно было иметь актуальные на весь период наблюдений расходы откачек каждого агрегата.

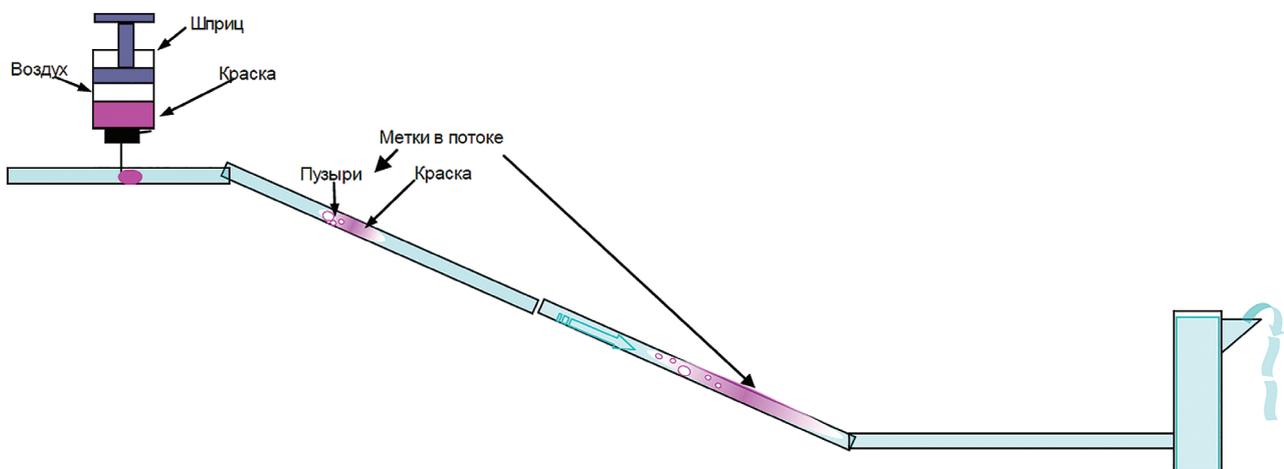


Рисунок 4 – Схема физической модели ниспадающей ветви сифонного водосброса на насосной станции «Гало-Ковалевская»

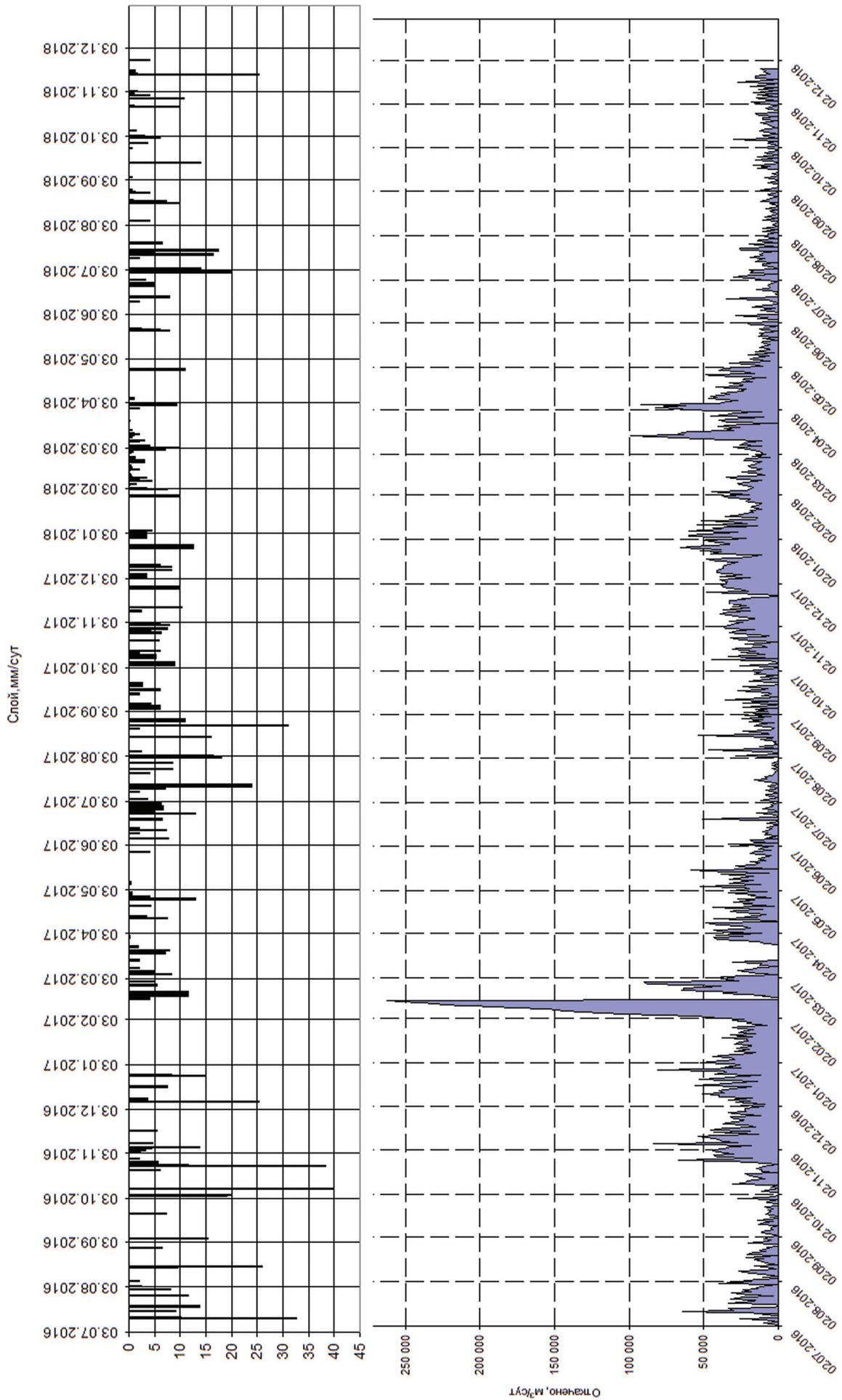


Рисунок 5 — Величина суточных объемов отдачи воды насосной польдерной системы «Гало-Ковалевская» на фоне выпадавших осадков (данные 2016–2018 гг.)

Расходы определялись с частотой раз в 2–3 месяца или после ремонтов. Порядок определения скоростей в сбросных трубах описан выше. Приведем некоторые подробности процесса измерения расходов.

После запуска насосного агрегата, 15–20 мин. работы отводилось для достижения установившегося состояния потока. Затем проводилось 5–6 определений, после каждого определения выдерживалась пауза 5–10 мин. для восстановления установившегося режима откачки. В таблице 1 приведен пример использования первичных экспериментальных данных, полученных исполнителем, и методика расчета расходов. Такие измерения делались по всем работоспособным на момент измерения насосам.

Наиболее точно визуально определяется время начала и конца выхода на поверхность воздушных пузырей. Поэтому оно и фиксируются. При этом время до появления пузырей в отводящем канале включает в себя период от открытия клапана срыва вакуума до всплытия первого пузыря, а время окончания выхода пузырей представляет собой период между закрытием клапана срыва вакуума и окончанием пузырения. Обычно достаточно 5–6 повторов, но если разброс полученных значений велик, то их количество увеличивается до 10. Для определения средних значений в расчет не принимаются самое малое и самое большое значение.

Затем определяется время прохождения центром тяжести метки ниспадающей ветви сифона как среднее между временем начала

и конца выхода пузырей, за минусом времени их подъема от щелюги сбросной трубы до поверхности воды в водоприемнике.

Измеренное расстояние от клапана срыва вакуума до окончания сбросной трубы, деленное на полученное время, дает среднюю скорость потока; умножением на площадь сбросной трубы получаем искомый расход насосного агрегата, актуальный на момент измерения (1).

Далее определяется коэффициент полезного действия (КПД) агрегата в смысле отношения изменения потенциальной энергии откаченной воды к затраченной энергии (по данным об отметках воды в аванкамере и водоприемнике, а также потребляемой насосным агрегатом мощности по показаниям счетчика электроэнергии).

По факту, в приведенном примере значения КПД агрегатов были довольно низкими – очевидно потому, что здесь, помимо износа самих насосов, учтены все виды потерь по насосной и трубопроводам: № 1 – 0,36; №2 – 0,23; № 3 – 0,31.

Вопрос о предельных допустимых к использованию в производстве КПД можно будет решать после накопления статистических данных по фактическим КПД действующих насосных станций. В части же эффективного распределения нагрузки в разрезе насосной станции, можно отметить, что наиболее рациональным является использование по максимуму насосов 1 и 3; насос 2 необходимо готовить к ремонту.

Заключение

Приведенная методика оперативного определения расходов откачек насосными агрегатами польдерных насосных станций с сифонными водосбросами, реально позволяет вести постоянный надзор за техническим состоянием агрегатов и своевременно принимать обоснованные решения по их ремонту. Хотя точность определения расходов откачки

с помощью предлагаемого способа невелика 15–20 %, все же ее достаточно, чтобы с определенным допуском сравнивать износ агрегатов не только на одной, но и разных насосных станциях, а это позволяет объективно оценивать первоочередность ремонтов уже в разрезе предприятий и объединений.

Таблица 1 – Расчет актуальных расходов насосных агрегатов насосной станции полевой системы «Гало-Ковалевская»

| № насоса | Время открытия клапана (T ₀), с | Время до начала пузрения (T ₁), с | Время до окончания пузрения (T ₂), с | Среднее время до начала пузрения+время открытия клапана $T_{1sr} = T_{0sr} + T_{1sr}$, с | Среднее время до окончания пузрения T _{2sr} , с | Время подъема пузрей до поверхности T ₃ , с | Время прохождения метки $T_4 = (T_{1sr} + T_{2sr}) / 2 - T_3$, с | Скорость, потока, м/с | Расход насосного агрегата, м ³ /с | Длина трубы нисходящей ветви сифонного водосбора L, м | Внутренний диаметр трубы водосбора D, м |
|----------|---|---|--|---|--|--|---|-----------------------|--|---|---|
| | | | | | | | | | | | |
| 1 | 5 | 6 | 20 | | | | | | | | |
| 1 | 5 | 6 | 10 | | | | | | | | |
| 1 | 5 | 6 | 10 | | | | | | | | |
| 1 | 5 | 6 | 12 | 11 | 10,5 | 2 | 8,75 | 2,56 | 0,72 | 22,4 | 0,6 |
| 1 | 5 | 6 | 10 | | | | | | | | |
| 1 | 5 | 6 | 15 | | | | | | | | |
| 2 | 5 | 7 | 20 | | | | | | | | |
| 2 | 5 | 7 | 18 | | | | | | | | |
| 2 | 5 | 9 | 22 | 12,5 | 19,75 | 2 | 14,125 | 1,585841 | 0,45 | 22,4 | 0,6 |
| 2 | 5 | 7 | 15 | | | | | | | | |
| 2 | 5 | 15 | 20 | | | | | | | | |
| 2 | 5 | 7 | 19 | | | | | | | | |
| 3 | 5 | 7 | 25 | | | | | | | | |
| 3 | 5 | 6 | 13 | | | | | | | | |
| 3 | 5 | 6 | 13 | 11 | 14 | 2 | 10,5 | 2,13 | 0,60 | 22,4 | 0,6 |
| 3 | 5 | 6 | 12 | | | | | | | | |
| 3 | 5 | 6 | 15 | | | | | | | | |
| 3 | 5 | 6 | 15 | | | | | | | | |

Библиографический список

1. Шкутов, Э. Н. Совершенствование режимов работы и конструкций польдерных насосных станций / Э. Н. Шкутов, И. П. Иванов, В. А. Деревянко // Мелиорация. – 2014. – № 2 (72). – С. 30-47.
2. О повышении эффективности функционирования польдерных систем и насосных станций : приказ Белорусского гос. концерна по строительству и эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных систем «Белмелиовохоз» от 20.10.1998 г. № 140. – Минск. – 26 с.
3. Кутателадзе, С. С. Гидродинамика газожидкостных систем / С. С. Кутателадзе. – М. : Энергия, 1976. – Изд. 2-е. – 297 с.
4. Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселев [и др.]; под ред. П. Г. Киселева. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : Энергия, 1972 . – С. 12-13.

Поступила 09.09.2019

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.85

ИНТРОДУКЦИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВИДОВ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ

Т. Ф. Маховикова¹, научный сотрудник

С. Н. Сивцева¹, научный сотрудник

Л. П. Рыбашлыкова², кандидат сельскохозяйственных наук

¹Северо-Кавказский филиал Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Ставропольский край, с. Ачикулак, Россия

²Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, г. Волгоград, Россия

Аннотация

В статье представлены результаты интродукции в аридных условиях нетрадиционных масличных культур рыжика и сафлора, хозяйственное использование которых обусловлено жаро- и засухоустойчивостью, способностью давать стабильные урожаи в самые засушливые годы. В семенах этих культур содержание жира достигает 60 %. Уникальный жирнокислотный состав позволяет использовать их масло во многих отраслях народного хозяйства. Возделывание рыжика и сафлора увеличивает биоразнообразие агроландшафтов масличными культурами, снижает агроэкологическую напряженность аридных территорий.

Ключевые слова: интродукция, масличные культуры, сафлор, рыжик, адаптация, технология выращивания, перспектива, биопродуктивность, масличность семян.

Abstract

T. Maschovikova, S. Sivceva, L. Rybashlykova

THE INTRODUCTION OF NONCONVENTIONAL OIL CROPS IN ARID CONDITIONS

This article presents the results of the introduction of non-traditional oilseed crops (camelina and safflower) in arid conditions. Their economic value is in the heat and drought tolerance, the ability to produce stable yields in the driest years. The fat content of seed of these crops reaches up to 60 %. The unique fatty acid composition allows the use of oil in many sectors of the economy. Cultivation of camelina and safflower increases the biodiversity of agricultural landscapes with oilseeds, reduces the agro-ecological tension of arid territories.

Keywords: introduction, oilseeds, safflower, camelina, adaptation, technology, prospect, bioproductivity, oil content of seeds.

Введение

В настоящее время потребность населения нашей планеты в продуктах питания удовлетворяется далеко не полностью. Особенно остро ощущается дефицит пищевого белка, который оценивается в 10–25 млн тонн в год. Восполнить его можно растительными маслами, содержащими до 60 % жира, который состоит из ненасыщенных (олеиновой, линолевой, линолиновой) и насыщенных (пальмитиновой,

стеариновой) кислот. Растительные масла используются как продукты питания или сырье для производства отделочных или смазочных материалов.

В организме человека должен сохраняться баланс жиров, т. к. при их избытке развивается ожирение, возникают сердечно-сосудистые заболевания, преждевременное старение, а при их ограничении – наблюдаются отклонения

в физиологическом состоянии организма, нарушается деятельность центральной нервной системы, ослабляется иммунитет.

В мировом земледелии масличные культуры занимают значительную часть – не менее 4 млн га. В Российской Федерации их возделывают на Северном Кавказе, Поволжье, Центральном Черноземье, Западной Сибири и на Дальнем Востоке [1]. Природно-климатические условия Западного Прикаспия благоприятны для возделывания всех сельскохозяйственных культур. Ранее лидирующее место среди масличных отводилось подсолнечнику. Однако в последние годы в регионе складываются погодные условия, близкие к экстремальным. Острый недостаток влаги в летний период, высокая температура воздуха (в июне, июле – 35–40 °С, августе – 39–43 °С), относительная влажность воздуха на уровне 30–50 %, угнетающе сказываются на развитии подсолнечника. Поэтому возникает необходимость введения альтернативных засухоустойчивых, малораспространенных масличных культур – сафлора и рыжика.

Сафлор (*Carthamus tinctorius*) – однолетнее травянистое растение семейства сложноцветных (астровых), произрастающее в Индии. Растения сафлора имеют хорошо развитый стержневой корень, проникающий на глубину до 2 м. Быстрый рост корня на этапе проростка и медленное нарастание листовой массы обеспечивает его выживание в степной зоне в засушливом климате. Для сафлора характерен яровой тип развития. Его семена прорастают при плюс 4–6 °С, а всходы выдерживают непродолжительные заморозки до минус 4–6 °С. Жирнокислотный состав сафлорового масла подобен подсолнечному. Содержание линолевой кислоты составляет 88,3 %, олеиновой – 7,6, пальмитиновой – 5,5, стеариновой – 0,65, линолиновой – 0,2 %. Сафлор в своем составе содержит инулин, нормализующий уровень глюкозы в крови, обладающий

противосклеротическим, желчегонным, мочегонным действием, регулирующий функцию щитовидной железы. Сафлор тепло- и светолюбив, жаровынослив, засухоустойчив, поэтому способен давать стабильные урожаи в самые засушливые годы [2].

Не менее хозяйственно важной и экономически выгодной культурой является рыжик (*Camelina sativa*) – однолетнее растение семейства крестоцветных. Его растения за вегетацию образуют ветвистый стебель высотой до 70 см. Корень стержневой, листья продолговатые, сидячие, соцветия собраны в кисть, лепестки светло-желтые. Плод – обратногрушевидный многосемянный стручок. В семенах рыжика содержатся: растительные жиры – до 47 %, сырой протеин – 30, клетчатка – 8–9, гликозиды – 0,15–0,2, неомыляющие вещества – 1,5 %. Рыжиковое масло включает 9–14 % насыщенных кислот, 85–90 % – ненасыщенных и относится к высыхающим. Его широко используют во многих отраслях народного хозяйства: в пищевой промышленности, медицине для лечения ран, при производстве высококачественных олиф и красок. Наиболее перспективным считается его применение в качестве сырья для производства биокеросина: при его сгорании практически не выделяются канцерогены. Над этим направлением работают представители Италии, Финляндии и Германии на крупнейшем авиаконцерне «Люфтганза» [3, 4].

Высокая пластичность сафлора и рыжика, способность произрастать в условиях высокой термической обеспеченности территории, формировать стабильный урожай семян предопределили выбор этих культур для участия в наших исследованиях.

Цель исследований – обогащение культурной флоры региона перспективными видами теплолюбивых растений и разработка технологии их введения в лесоаграрные ландшафты в условиях глобального потепления климата.

Объекты, методы и условия проведения исследований

Территория Западного Прикаспия характеризуется засушливым климатом (атмосферных осадков выпадает 300–330 мм/год), безморозный период длится более 180 дней. В то же время высокая теплообеспеченность региона 3100–4000 °С, радиационная напряженность

120 ккал/мм² в вегетационный период, рыхлые аэрируемые почвы (гумусированные пески и супеси) создали предпосылки для успешной интродукции сафлора и рыжика. Закладка опытных объектов и исследования проводились на интродукционном участке

Северо-Кавказского филиала ФНЦ агроэкологии РАН. Объекты исследований – сафлор бесшипый, десять сортов рыжика из Прикаспийского НИИ аридного земледелия (Астраханская область). Почва на участке – в верхних слоях супесчаная (песка – 86–93%), в более глубоких слоях – связно-песчаная. Содержание гумуса в верхнем горизонте составляет 0,56–0,59%, азота – 0,02–0,04, фосфора – 0,03, калия – 0,4%, реакция водной вытяжки pH в слое почвы 0–1,5 м нейтральная (7,0).

Технология выращивания сафлора и рыжика не предусматривает специальных агротехнических мероприятий и легко вписывается в существующую зональную систему. Однако ее строгое соблюдение служит гарантией получения высоких показателей урожая. Лучшие результаты сафлор и рыжик дают при посеве по глубоко вспаханной почве (23–25 см) с обязательным внесением органических удобрений перед вспашкой 60–80 т/га и последующей культивацией и боронованием.

Результаты и их обсуждение

Северо-Кавказский филиал более десяти лет успешно проводит интродукционные исследования по расширению биоразнообразия культурной флоры региона теплолюбивыми видами растений, в т. ч. масличными, с высокой продуктивностью и масличностью, неприхотливостью к условиям произрастания и имеющих большое народнохозяйственное значение. В ходе многолетних исследований выделены сафлор и рыжик с коротким периодом созревания.

Свою вегетацию растения рыжика начинают в новых условиях выращивания с появления всходов в третьей декаде апреля, сафлора – в первой декаде мая. Оптимальный срок для посева по данным многолетних исследований –

Семена сафлора высевали ширококрядно через 45 и 60 см, рыжика – сплошным способом, глубина заделки семян 4–5 см. Норма посева семян сафлора – 8–10 кг/га, рыжика – 15 кг/га. В течение вегетации на посевах выполняли до 4-х междурядных обработок для уничтожения сорной растительности и рыхления почвы.

В период интенсивного роста на опытных объектах проводили подкормки минеральными удобрениями разными дозами: 0,9 ц/га – $N_{45}P_{60}K_{45}$ и 1,2 ц/га – $N_{60}P_{90}K_{45}$. Перед цветением посева сафлора обрабатывали инсектицидами (Метафосом – 1,2 кг/га). Растения рыжика практически не повреждались вредителями и болезнями в новых условиях выращивания. В течение вегетации за объектами проводились фенологические наблюдения, прослеживалась динамика роста и развития масличных культур, определялась семенная продуктивность. Исследования проводили согласно требованиям методики полевого опыта Б. А. Доспехова (1985) и методики исследований при интродукции лекарственных растений Н. И. Майсурадзе (1984).

вторая декада апреля. В начале мая растения рыжика начинают формировать главный стебель с многочисленными сидячими листьями. Наступление фазы бутонизации у рыжика отмечали в середине мая, у сафлора – в конце мая. Образование первых цветков в корзинках сафлора наблюдали в третьей декаде июня, продолжительность фазы цветения – около месяца, до середины июля. Цветение рыжика длится в течение недели и заканчивается в конце мая, когда он вступает в фазу плодоношения. Созревание семян заканчивается у рыжика в начале третьей декады июня, у сафлора – во второй декаде августа. Полный цикл вегетации в сезонном онтогенезе рыжика составил 58 дней, сафлора – 95 дней (табл. 1).

Таблица 1 – Фенология развития масличных культур в условиях Западного Прикаспия

| Культура, сорт | Начало вегетации | Фаза вегетации | | | | Продолжительность, дн. |
|-------------------|------------------|----------------|-------------|--------------|-------------|------------------------|
| | | бутонизация | цветение | плодоношение | созревание | |
| Сафлор бесшипый | 05.05 | 30.05–09.06 | 22.06–13.07 | 12.07–25.07 | 30.07–10.08 | 95 |
| Рыжик Саратовский | 23.04 | 15.05–23.05 | 22.05–30.05 | 29.05–07.06 | 10.06–21.06 | 58 |

В исследованиях по изучению сравнительной продуктивности участвовали следующие сорта рыжика: Иркутский, Ужурский, Чулымский, Шортандинский, Саратовский, Воронежский, Челябинский, Венгерский, ФРГ4165, ЧССР. Из десяти высеянных сортообразцов выделен Саратовский, скороспелость которого сочетается с высокой продуктивностью – 15,7 ц/га.

При анализе густоты стояния растений сафлора прослеживается тенденция увеличения урожайности в опытах с меньшими междурядьями. При ширине междурядий 45 см (63 000 шт./га) растения сафлора формируют кусты максимальной высоты до 100 см с наибольшим числом корзинок – 18 шт./раст., массой семян с одного куста до 7,0 г. Семенная продуктивность посевов при таком размещении составляет 6,2 ц/га. Увеличение ширины междурядий до 60 см (51 000 шт./га) приводит к недобору урожая в пределах 22–25 % – 4,8 ц/га.

Почвы характеризуются незначительным содержанием гумуса и недостатком

питательных веществ, что вызывает необходимость внесения минеральных удобрений для нормального роста и развития растений и формирования высоких урожаев маслосемян. Учитывая при этом отзывчивость растений на внесение минеральных удобрений в период интенсивного роста (перед цветением), на опытных объектах проводили подкормки нитроаммофосом разными дозами – 0,9 и 1,2 ц/га. Внесение нитроаммофоса при дозе 0,9 ц/га дало прибавку урожая семян рыжика на 2,2, сафлора – 1,7 ц/га. Наибольшая прибавка урожайности семян получена в опыте с дозой 1,2 ц/га: у растений рыжика – 3,8 ц/га, сафлора – 3,4 ц/га (табл. 2).

Полученные результаты интродукционных исследований свидетельствуют о возможности выращивания масличных растений сафлора и рыжика на территории Западного Прикаспия в целях освоения малопродуктивных песчаных земель.

Выводы

Отечественный и мировой опыт убедительно свидетельствует об успешном развитии земледелия в случае соответствия биологических особенностей растений почвенно-климатическим факторам района выращивания. Результаты интродукционных исследований позволяют отметить, что богатые термические условия Западного Прикаспия благоприятны для возделывания нетрадиционных масличных культур – отличного источника маслосемян, широко используемых в пищевых, лечебных, технических целях. В новых условиях выращивания масличные культуры сафлор и рыжик зарекомендовали себя как засухоустойчивые, жаровыносливые растения, способные расти и развиваться, давать относительно высокие и стабильные урожаи даже в самые засушливые годы. Посев в ранние сроки (вторая декада апреля) позволяет растениям-интродуцентам более продуктивно использовать осенне-зимние запасы влаги, быстрее проходить межфазные периоды онтогенеза и меньше поражаться

вредителями и болезнями. За период исследований продолжительность вегетационного периода у сафлора составила 95, у рыжика – 58 дней. Наиболее продуктивными оказались агроценозы сафлора в широкорядных посевах через 45 см – 6,2 ц/га. Увеличение ширины междурядий приводит к недобору урожая на 22–25 %. Несмотря на неприхотливость к почвенным условиям и питанию, сафлор и рыжик положительно отзываются на подкормку минеральными удобрениями. Внесение нитроаммофоса при дозе 1,2 ц/га позволило получить прибавку семенной продуктивности у рыжика на 3,4 ц/га, у сафлора – на 3,0 ц/га.

Проведенные исследования показывают актуальность интродукции масличных культур для региона. Увеличение биоразнообразия агроландшафтов масличными культурами снизит агроэкологическую напряженность, обеспечит сырьем различные отрасли промышленности и расширит ассортимент продукции из семян масличных культур.

Таблица 2 – Влияние агрофона на рост и продуктивность интродуцируемых культур

| Вид растений | Контроль | | Вариант с внесением удобрений | | | |
|--------------|----------|-------------------|-------------------------------|-------------------|----------|-------------------|
| | | | 0,9 ц/га | | 1,2 ц/га | |
| | h, см | урожайность, ц/га | h, см | урожайность, ц/га | h, см | урожайность, ц/га |
| Сафлор | 64,6 | 6,2 | 72,8 | 7,9 | 73,2 | 9,2 |
| Рыжик | 31,3 | 15,7 | 37,6 | 17,9 | 40,1 | 19,1 |

Библиографический список

1. Чекмарев, П. А. Интродукция нетрадиционных масличных культур / П. А. Чекмарев, А. А. Смирнова, Т. Я. Прахова // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 7. – С. 3-5.
2. Рекомендации по возделыванию сафлора в Астраханской области / И. Ш. Шахмедов, В. П. Зволинский, Е. И. Костренко, Н. В. Кузнецова // Высокие технологии в аграрном комплексе Прикаспия. – 2002. – С. 371-373.
3. Буянкин, В. И. Рыжик масличный (*Camelina Sp.*) : монография / В. И. Буянкин, Т. Я. Прахова. – Волгоград, 2016. – С. 116.
4. Прахова, Т. Я. Формирование урожайности ярового рыжика в зависимости от минеральных удобрений / Т. Я. Прахова, Л. Е. Вельмиева // Молодой ученый. – 2016. – № 20 (124). – С.480-483.

Поступила 05.06.2019

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ ПАСТБИЩНЫХ ТРАВСТОЕВ НА МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВАХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

А. В. Сорока, доцент, кандидат сельскохозяйственных наук

Н. Н. Костюченко, научный сотрудник

Государственное научное учреждение «Полесский аграрно-экологический институт
Национальной академии наук Беларуси»,
г. Брест, Беларусь

Аннотация

Проведена оценка продуктивности пастбищных бобово-злаковых травостоев на минеральных почвах Белорусского Полесья. Установлено, что наиболее продуктивными являются травостои, возделываемые на осушенной дерново-глеевой песчаной почве. Их выращивание на дерново-подзолистой почве нецелесообразно вследствие низкой продуктивности. Включение в травосмеси дополнительного бобового компонента (клевера лугового, люцерны посевной, лядвенца рогатого, эспарцета) не способствовало значительному увеличению продуктивности травостоев на исследуемых типах почв.

Ключевые слова: пастбищные травостои, продуктивность, бобовый компонент.

Abstract

A. V. Soroka, N. N. Kostyuchenko

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE PRODUCTIVITY OF PASTURE GRASS STANDS ON THE MINERAL SOILS OF BELARUSIAN POLESYE

The productivity of pasture legume-grass stands on the mineral soils of the Belarusian Polesye was assessed. It has been established that the most productive are the grass stands cultivated on well-drained sod-gley sandy soil. Cultivation of legume-cereal grasses on sod-podzolic soil is impractical due to their very low productivity. The additional legume component inclusion in grass mixtures (red clover, sowing alfalfa, bird's-foot trefoil, sainfoin) did not contribute to a significant increase in the productivity of grass stands on the studied soil types.

Keywords: herbage, productivity, bean component.

Введение

Основу кормопроизводства на сельскохозяйственных угодьях составляют многолетние травы. До настоящего времени урожайность их остается низкой. Основными причинами такого состояния является недостаточное внесение удобрений, а также неудовлетворительная структура травостоев.

В ряде западноевропейских государств среди посевов многолетних трав преобладают злаки, потенциал которых на фоне больших доз азота превосходит бобовые. Однако для условий Беларуси с острым дефицитом азотных удобрений единственной альтернативой является увеличение в травостоях удельного веса бобового компонента [1, 2]. Ставится задача в течение предстоящих лет перейти на бобовые и бобово-злаковые травостои с содержанием бобового компонента в их составе не менее 40 %, что позволит уменьшить потребность

в азотных удобрениях [3] и улучшить качество корма [4, 5].

Преобладание в Полесском регионе легких по гранулометрическому составу почв (в основном рыхлосупесчаных и песчаных), характеризующихся низким естественным плодородием, лимитирует создание высокопродуктивных агрофитоценозов из традиционных культур, требовательных к почвенной влажности [6]. В связи с этим в Белорусском Полесье для оптимизации видового состава пастбищных травосмесей, а также подбора наиболее пригодных почв для их возделывания необходимы дополнительные научные исследования.

Цель работы – сравнить продуктивность пастбищных бобово-злаковых травостоев с дополнительным бобовым компонентом на минеральных почвах Белорусского Полесья.

Методика и объекты исследования

Полевые исследования проводили в 2010–2013 гг. на землях опытного стационара хозяйства ГУСП «Племзавод Мухавец» Брестского района.

Почвы опытного участка – осушенная дерново-глееватая песчаная на водно-ледниковом связном песке, сменяемом с глубины 0,4 м рыхлым песком, и дерново-подзолистая слабоглееватая песчаная почва на водно-ледниковом связном песке, сменяемом с глубины 0,3 м рыхлым песком.

Мощность пахотного горизонта – 20–25 см. Агрохимическая характеристика пахотного слоя дерново-глееватой почвы: pH – 5,9; содержание гумуса – 4,2 %, подвижных форм P_2O_5 – 118 мг/кг и K_2O – 150 мг/кг почвы. Характеристика дерново-подзолистой почвы: pH – 5,7–5,9; содержание гумуса – 1,8–2,0 %, подвижных форм P_2O_5 – 92–106 мг/кг и K_2O – 78–82 мг/кг почвы.

Объектами исследования являлись пастбищные травосмеси с различным видовым составом. В состав каждой травосмеси входили: фестулолиум (сорт Пуня) – 10 кг/га, райграс пастбищный (сорт Пашавы) – 10 кг/га, овсяница луговая (сорт Зорка) – 5 кг/га, овсяница красная (сорт Шилис) – 3 кг/га, клевер ползучий (сорт Чародей) – 4 кг/га. Кроме этого, в испытываемые травосмеси вводили дополнительный бобовый компонент: клевер луговой (сорт Цудоўны) – 4,5 кг/га, люцерну посевную (сорт Будучыня) – 6 кг/га, лядвенец рогатый (сорт Изис) – 5,5 кг/га, эспарцет (сорт Каўпацкі) – 15 кг/га.

Опыты по изучению сравнительной продуктивности многолетних трав проводили в 4-кратной повторности с рандомизированным размещением вариантов. Общая площадь делянки – 20 м². Посев беспокровный. В период вегетации проводили от 4 до 5 укосов в зависимости от года пользования и типа почвы.

Агротехника в опытах общепринятая. В качестве предшественников под многолетние травы использовали зерновые. В почву вносились фосфорные и калийные удобрения –

Результаты и их обсуждение

В ходе исследований установлено, что за 2010–2013 гг. пастбищные травостои на осушенной дерново-глееватой песчаной почве формировали урожайность зеленой массы в среднем 318,0 ц/га, или 63,9 ц/га сухой массы,

$P_{60}K_{120}$. Для борьбы с сорной растительностью проводили подкашивание травостоя на высоте 10 см через 30 дней после посева.

Учеты и наблюдения осуществлялись согласно методическим указаниям по проведению полевых опытов с кормовыми культурами [7, 8].

Ботанический состав анализировался путем разбора образцов по видам трав и их взвешивания. Пробы на ботанический анализ брали со всех повторностей каждого варианта, смешивали, отбирали среднюю пробу весом 1,0 кг.

Учет урожайности зеленой массы проводили путем ее скашивания с помощью косилки на высоте 5–6 см от поверхности почвы и взвешивания.

Пробы на химический анализ отбирались накануне скашивания (но не раньше, чем за 1–2 дня до него) в сухую погоду, после схода росы. Масса средней пробы составляла не менее 1 кг. Зоотехнический анализ кормов проводился в аккредитованной лаборатории Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси, осуществляющей контроль за качеством и безопасностью кормов, комбикормов и комбикормового сырья в Брестской области. Химический состав кормов был изучен по общепринятым методикам зоотехнического анализа и в соответствии с действующими ГОСТами:

– сырой протеин – ГОСТ 13496.4-93 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина» (титриметрический метод определения азота по Кьельдалю);

– сырая клетчатка – ГОСТ 13496.2-91 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения сырой клетчатки»;

– сухое вещество – ГОСТ 27548-97 «Корма растительные. Методы определения содержания влаги».

Содержание кормовых единиц и обменной энергии определяли по ГОСТу 27978-88 «Корма зеленые. Технические условия».

На основе полученных данных рассчитывали продуктивность травостоев.

что в 2,5 раз выше по сравнению с дерново-подзолистой слабоглееватой песчаной почвой. Урожайность травосмесей с дополнительным бобовым компонентом на исследуемых типах почв не значительно отличалась от травосмеси

с клевером ползучим и находилась в пределах 314,3–320,6 ц/га на дерново-глеевой почве и 124,1–127,2 ц/га – на дерново-подзолистой слабоглеевой (табл. 1).

При оценке распределения зеленой массы пастбищных травостоев по циклам стравливания было отмечено, что наиболее стабильно пастбищный корм формировался на осушенной дерново-глеевой песчаной

почве, т. к. ее относительная влажность в период вегетации трав была значительно выше, чем дерново-подзолистой слабоглеевой песчаной почвы. На дерново-подзолистой слабоглеевой почве урожайность зеленой массы травостоев в циклах стравливания уменьшалась, что обусловлено снижением почвенной влаги во второй половине вегетации (табл. 2).

Таблица 1 – Урожайность пастбищных травостоев на минеральных почвах (в среднем за 2010–2013 гг.)

| Травосмеси | Урожайность за вегетационный период ¹ , ц/га | | | | Среднее значение за 4 года, ц/га |
|---|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|
| | 1-й год жизни | 2-й год жизни | 3-й год жизни | 4-й год жизни | |
| Осушенная дерново-глееватая песчаная почва | | | | | |
| Травосмесь с клевером ползучим | <u>264,3</u> 51,8 | <u>385,0</u> 77,6 | <u>347,8</u> 68,2 | <u>285,3</u> 60,4 | <u>320,6</u> 64,5 |
| Травосмесь с клевером ползучим+ клевер луговой | <u>255,3</u> 50,3 | <u>390,8</u> 78,0 | <u>340,6</u> 67,1 | <u>294,3</u> 62,4 | <u>320,3</u> 64,4 |
| Травосмесь с клевером ползучим+ люцерна посевная | <u>253,9</u> 49,5 | <u>391,1</u> 79,1 | <u>334,9</u> 65,3 | <u>284,6</u> 60,3 | <u>316,1</u> 63,5 |
| Травосмесь с клевером ползучим+ лядвенец рогатый | <u>259,5</u> 50,6 | <u>383,3</u> 77,3 | <u>348,2</u> 67,9 | <u>283,9</u> 60,1 | <u>318,7</u> 64,0 |
| Травосмесь с клевером ползучим+ эспарцет | <u>252,6</u> 49,5 | <u>375,5</u> 75,5 | <u>344,0</u> 67,4 | <u>285,2</u> 60,4 | <u>314,3</u> 63,2 |
| НСР ₀₅ | <u>24,3</u> 4,8 | <u>33,5</u> 6,7 | <u>26,9</u> 5,3 | <u>23,7</u> 5,1 | – |
| Дерново-подзолистая слабоглееватая песчаная почва | | | | | |
| Травосмесь с клевером ползучим | <u>80,6</u> 16,2 | <u>195,8</u> 38,6 | <u>117,2</u> 23,6 | <u>102,7</u> 22,8 | <u>124,1</u> 25,3 |
| Травосмесь с клевером ползучим+ клевер луговой | <u>79,3</u> 16,1 | <u>198,2</u> 39,2 | <u>120,8</u> 24,5 | <u>106,0</u> 23,6 | <u>126,1</u> 25,9 |
| Травосмесь с клевером ползучим+ люцерна посевная | <u>80,0</u> 16,4 | <u>195,1</u> 39,0 | <u>123,5</u> 25,3 | <u>110,3</u> 24,6 | <u>127,2</u> 26,3 |
| Травосмесь с клевером ползучим+ лядвенец рогатый | <u>83,3</u> 17,0 | <u>194,2</u> 38,5 | <u>120,2</u> 24,5 | <u>107,5</u> 23,9 | <u>126,3</u> 26,0 |
| Травосмесь с клевером ползучим+ эспарцет | <u>78,7</u> 15,9 | <u>190,9</u> 37,6 | <u>122,2</u> 24,7 | <u>107,3</u> 23,0 | <u>124,8</u> 25,3 |
| НСР ₀₅ | <u>9,5</u> 1,9 | <u>11,9</u> 2,3 | <u>10,3</u> 2,1 | <u>11,1</u> 2,0 | – |

Примечание. В числителе указана урожайность зеленой массы, ц/га; в знаменателе – урожайность сухого вещества, ц/га.

Анализ продуктивности пастбищных травостоев на минеральных почвах Полесья показал: в среднем за четыре года исследований более продуктивными были травы, возделываемые на осушенной дерново-глеевой почве. Выход кормовых единиц и сбор сырого протеина бобово-злаковых травостоев на данном типе почвы более чем в 2 раза превысил аналогичные показатели на дерново-подзолистой слабogleевой песчаной почве и составил 57,5–60,6 ц/га и 12,1–12,4 ц/га соответственно. При этом в пределах каждого типа почвы продуктивность травосмеси с клевером ползучим незначительно отличалась от травосмесей, содержащих дополнительный бобовый компонент. Так, на дерново-подзолистой слабogleевой песчаной почве выход кормовых единиц бобово-злаковых травостоев в среднем за четыре года составил 22,1–22,8 ц/га, сбор сырого протеина – 4,3–4,5 ц/га (табл. 3).

Низкая продуктивность пастбищных травостоев на данном типе почв свидетельствует о невозможности проведения на ней полноценного выпаса крупного рогатого скота.

Продуктивность пастбищных бобово-злаковых трав в значительной степени обусловлена их ботаническим составом. Содержание бобового компонента в пастбищных травостоях зависело от типа почвы, погодных условий и года жизни травостоя. На осушенной дерново-глеевой почве доля бобового компонента в течение четырех лет жизни постепенно увеличивалась с 9,7–13,7 % до 36,8–49,6 % в отличие от дерново-подзолистой слабogleевой песчаной почвы, где на второй год жизни травостоев при их достаточной влагообеспеченности отмечено максимальное содержание бобового компонента в смесях – 35,8–58,8 %, а в последующие годы – его резкое снижение (табл. 4).

Таблица 2 – Распределение зеленой массы пастбищных злаково-бобовых травостоев по циклам стравливания (в среднем за 2010–2013 гг.) от общего урожая

| Почва | Цикл стравливания ¹ | | | | |
|--|--------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | 1-й | 2-й | 3-й | 4-й | 5-й |
| Осушенная дерново-глееватая песчаная | <u>81,0</u> 24,1 | <u>61,2</u> 18,2 | <u>71,1</u> 21,1 | <u>68,20</u> 20,2 | <u>55,3</u> 16,4 |
| Дерново-подзолистая слабogleеватая песчаная | <u>36,7</u> 33,0 | <u>30,4</u> 27,4 | <u>23,7</u> 21,3 | <u>20,3</u> 18,3 | – |

Примечание. В числителе указана урожайность зеленой массы, ц/га; в знаменателе – процентное соотношение от общего урожая, %.

Таблица 3 – Продуктивность пастбищных травостоев в среднем за 2010–2013 гг.

| Травосмеси | Выход кормовых единиц, ц/га | Сбор сырого протеина, ц/га |
|---|-----------------------------|----------------------------|
| Осушенная дерново-глееватая песчаная почва | | |
| Травосмесь с клевером ползучим | 60,6 | 12,4 |
| Травосмесь с клевером ползучим + клевер луговой | 59,9 | 12,3 |
| Травосмесь с клевером ползучим + люцерна посевная | 58,4 | 12,2 |
| Травосмесь с клевером ползучим + лядвенец рогатый | 58,8 | 12,3 |
| Травосмесь с клевером ползучим + эспарцет | 57,5 | 12,1 |
| Дерново-подзолистая слабogleеватая песчаная почва | | |
| Травосмесь с клевером ползучим | 22,1 | 4,3 |
| Травосмесь с клевером ползучим + клевер луговой | 22,6 | 4,4 |
| Травосмесь с клевером ползучим + люцерна посевная | 22,8 | 4,5 |
| Травосмесь с клевером ползучим + лядвенец рогатый | 22,7 | 4,4 |
| Травосмесь с клевером ползучим + эспарцет | 22,2 | 4,3 |

Таблица 4 – Участие бобовых компонентов в формировании урожайности пастбищных трав на минеральных почвах Белорусского Полесья

| Бобовый компонент | Ботанический состав, % | | | |
|---|------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1-й год жизни | 2-й год жизни | 3-й год жизни | 4-й год жизни |
| Осушенная дерново-глееватая песчаная почва | | | | |
| Клевер ползучий | 9,7 | 22,2 | 37,4 | 38,8 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (клевер луговой) | 6,9 | 18,8 | 30,1 | 37,6 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (люцерна) | 6,7 | 16,3 | 9,2 | 4,4 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (люцерна) | 7,8 | 19,7 | 32,5 | 32,8 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (люцерна) | 4,5 | 4,9 | 6,3 | 7,4 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (лядвенец) | 8,1 | 18,5 | 25,9 | 35,8 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (лядвенец) | 5,6 | 10,2 | 11,2 | 13,8 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (эспарцет) | 7,6 | 17,7 | 30,0 | 35,2 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (эспарцет) | 3,9 | 2,1 | 1,9 | 1,6 |
| Дерново-подзолистая слабоглееватая песчаная почва | | | | |
| Клевер ползучий | 6,5 | 47,2 | 11,4 | 6,7 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (клевер луговой) | 5,3 | 30,3 | 11,1 | 8,1 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (клевер луговой) | 3,2 | 28,5 | 7,7 | 1,9 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (люцерна) | 5,6 | 36,3 | 10,8 | 6,4 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (люцерна) | 2,8 | 5,6 | 4,6 | 3,8 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (лядвенец) | 5,2 | 38,5 | 9,6 | 8,7 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (лядвенец) | 3,1 | 14,3 | 6,2 | 5,1 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (эспарцет) | 4,8 | 31,7 | 12,3 | 6,8 |
| Клевер ползучий Дополнительный бобовый компонент (эспарцет) | 2,5 | 4,1 | 1,2 | 1,4 |

Основной бобовый компонент многолетних пастбищных травостоев – клевер ползучий. В среднем за четыре года на его долю на осушенной дерново-глееватой почве приходилось 22,3–27,5 % от общего состава травостоя, на дерново-подзолистой слабоглееватой песчаной – 17,1–23,8 %. Содержание данного бобового компонента на исследуемых почвах имело свои особенности по годам жизни травостоев. Так, на дерново-глееватой почве более высокая доля клевера ползучего в травосмесях приходилась на третий и четвертый годы жизни, вследствие снижения ценотической активности злаковых компонентов, а на дерново-подзолистой слабоглееватой песчаной – на второй год жизни, что объясняется благоприятными погодными усло-

виями. Следует отметить, что при достаточном количестве почвенной влаги содержание клевера ползучего в травосмесях на дерново-подзолистой почве достигало более 30 %, однако в засушливых условиях его доля в травостоях снижалась и находилась на уровне 6,4–8,7 %.

Среди дополнительных бобовых компонентов пастбищных травостоев, в связи с благоприятными условиями во второй год жизни, на исследуемых почвах преобладал клевер луговой. В последующие годы жизни его доля значительно снижалась. На четвертый год жизни на осушенной дерново-глееватой почве наибольшее содержание относительно других бобовых компонентов отмечено у лядвенца рогатого. Наименьшая доля участия в травостое на

исследуемых почвах была у эспарцета песчаного (см. табл. 4).

При оценке качества зеленой массы многолетних трав установлено, что в связи с большей долей бобового компонента более высокую кормовую ценность имели травы, возделываемые на осушенной дерново-глеевой почве. Так, содержание протеина в пастбищных травостоях на данном типе

почвы составило в среднем за четыре года 19,10–19,23 %, в то время как на дерново-подзолистой слабоглееватой песчаной почве данный показатель не превышал 16,94 %. На дерново-глеевой почве обменная энергия бобово-злаковых трав оказалась выше, чем на дерново-подзолистой слабоглееватой песчаной на 3,2–3,9 %, питательность – на 6,5–7,5 % (табл. 5).

Таблица 5 – Химический состав и энергетическая ценность пастбищной травосмеси в среднем за четыре года жизни (2010–2013 гг.)

| Травосмесь | Содержание сырого протеина, % в сух. веществе | Содержание сырой клетчатки, % в сух. веществе | Обменная энергия, МДж/кг сух. вещества | Питательность сух. вещества, к.ед. |
|---|---|---|--|------------------------------------|
| Осушенная дерново-глееватая песчаная почва | | | | |
| Травосмесь с клевером ползучим | 19,23 | 23,49 | 10,77 | 0,94 |
| Травосмесь с клевером ползучим + клевер луговой | 19,10 | 23,80 | 10,72 | 0,93 |
| Травосмесь с клевером ползучим + люцерна посевная | 19,20 | 24,13 | 10,66 | 0,92 |
| Травосмесь с клевером ползучим + лядвенец рогатый | 19,15 | 24,19 | 10,65 | 0,91 |
| Травосмесь с клевером ползучим + эспарцет | 19,20 | 24,45 | 10,60 | 0,91 |
| Дерново-подзолистая слабоглееватая песчаная почва | | | | |
| Травосмесь с клевером ползучим | 16,92 | 25,76 | 10,36 | 0,87 |
| Травосмесь с клевером ползучим + клевер луговой | 16,83 | 26,09 | 10,30 | 0,86 |
| Травосмесь с клевером ползучим + люцерна посевная | 16,90 | 25,99 | 10,32 | 0,86 |
| Травосмесь с клевером ползучим + лядвенец рогатый | 16,94 | 26,36 | 10,26 | 0,85 |
| Травосмесь с клевером ползучим + эспарцет | 16,85 | 26,42 | 10,24 | 0,85 |

Заключение

Проведена сравнительная оценка продуктивности многолетних пастбищных бобово-злаковых травостоев на минеральных почвах Белорусского Полесья. Установлено, что на осушенной дерново-глеевой почве они более чем в 2 раза превосходят по продуктивности аналогичные посевы на дерново-подзолистой слабоглеевой песчаной почве. За счет большего содержания бобового компонента пастбищные травы на дерново-глеевой почве характеризуются более высокими показателями качества корма. Посев многолетних

бобово-злаковых травостоев на дерново-подзолистой слабоглеевой песчаной почве вследствие их очень низкой продуктивности нецелесообразен.

Основным бобовым компонентом для создания пастбищ является клевер ползучий. Включение в состав травосмеси дополнительного бобового компонента (клевера лугового, люцерны посевной, лядвенца рогатого, эспарцета) не оказало значительного влияния на продуктивность и качество корма исследуемых почв.

Библиографический список

1. Шелюто, Б. В. Зеленые и сырьевые конвейеры / Б. В. Шелюто, В. И. Шлапунов, А. А. Шелюто. – Минск : Экоперспектива, 2008. – 239 с.
2. Шлапунов, В. Н. Резервы увеличения производства и улучшения качества кормов / В. Н. Шлапунов // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. – 2012. – № 3. – С. 32-38.
3. Мееровский, А. С. Проблемы и пути интенсификации лугового кормопроизводства в Беларуси / А. С. Мееровский // Повышение эффективности мелиорации сельскохозяйственных земель : доклады междунар. науч.-практ. конф., посвященной 75-летию Ин-та мелиорации и луговодства НАН Беларуси и 95-летию со дня рождения акад. С. Г. Скороопанова, Минск, 20–22 сент. 2005 г. – Минск, 2005. – С. 272-274.
4. Павловец, Н. А. Максимальное развитие травосеяния – фактор экологически чистого земледелия и обеспечения животноводства кормами / Н. А. Павловец. – Минск : Белнаучцентр-информмаркетинг АПК, 1998. – 32 с.
5. Кутузова, А. А. Создание высокопродуктивных сенокосов и пастбищ с бобово-злаковыми травостоями / А. А. Кутузова, Н. П. Крылова // Обзорная информация ВНИИТЭИСХ. – М., 1987. – 54 с.
6. Урожайность и качество зерновых культур в севообороте при разных системах удобрения на дерново-подзолистой супесчаной почве / В. В. Лапа [и др.] // Почвы и их плодородие на рубеже столетий : материалы II съезда белорусского общества почвоведов, 25–29 июня 2001 г. / БелНИИ почвоведения и агрохимии. – Минск, 2001. – Кн. 2. – С.164-166.
7. Навоселов, Ю. К. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю. К. Навоселов, Г. Д. Харьков, Н. С. Шеховцов. – М. : ВИК, 1983. – 198 с.
8. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

Поступила 10.07.2019

• ЭКОЛОГИЯ •

УДК 631.95:633.16

АГРОХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННОГО ОПОДЗОЛЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА

Ю. А. Мажайский^{1,2}, профессор, доктор сельскохозяйственных наук

О. В. Черникова², кандидат биологических наук

В. А. Игнатенко¹, научный сотрудник

¹Мещерский филиал Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова

²Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний, г. Рязань, Россия

Аннотация

При изучении подвижности тяжелых металлов наблюдалась в основном положительная роль различных систем удобрений в снижении их содержания в ацетатно-аммонийном экстрагенте (рН 4,8). Максимальная урожайность получена на варианте с комплексным внесением извести, органики и минеральных удобрений. На повышенно загрязненной почве зерно ячменя аккумулировало 0,98 мг/кг Pb и 0,18 мг/кг Cd, что превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) данных металлов в зерне. Все применяемые системы агрохимической мелиорации способствовали снижению поступления металлов в растения. Содержание меди и цинка в зерне не превышали ПДК.

Ключевые слова: агрохимическая мелиорация, плодородие, чернозем оподзоленный, тяжелые металлы, ячмень.

Abstract

Yu. A. Mazhayskiy, O. V. Chernikova, V. A. Ignatenok

AGROCHEMICAL RECLAMATION OF TECHNOLOGICALLY CONTAMINATED PODZOLIZED CHERNOZEM

When studying the mobility of heavy metals, a mainly positive role was observed for various fertilizer systems in reducing their content in the acetate-ammonium extractant (pH 4.8). The maximum yield was obtained on the option with the integrated application of lime, organic and mineral fertilizers. On highly contaminated soil, barley grain accumulated 0.98 mg/kg Pb, and 0.18 mg/kg Cd, which exceeds the maximum allowable concentration (MAC) of these metals in the grain. All applied agrochemical reclamation systems contributed to the reduction of metal intake in plants. The content of copper and zinc in the grain did not exceed the MAC.

Keywords: agrochemical reclamation, fertility, podzolized chernozem, heavy metals, barley.

Введение

При современном уровне развития сельского хозяйства в России практически нет почв, которые не нуждались бы в мероприятиях, направленных на улучшение их качеств или поддерживающих их нормальное состояние [1, 2, 3]. В результате нерационального использования сельскохозяйственных земель, а также

сокращения мероприятий по их защите стали широко развиваться процессы деградации почв (ухудшение физических свойств и химического состава), их загрязнение тяжелыми металлами (ТМ).

Наиболее сложной частью проблемы охраны окружающей среды является восстанов-

ление плодородия почв, загрязненных ТМ. Загрязнение земель ТМ происходит в основном под влиянием антропогенных факторов, однако, не сразу всей территории землепользования. На ранних стадиях выделяются отдельные поля с повышенным их содержанием [4, 5].

Интенсивный рост нефтехимической, химической и нефтеперерабатывающей промышленности, энергетики и автомобильно-дорожного комплекса в Рязанской области оказывает негативное влияние на окружающую среду. ТМ по воздействию на биологические объекты и масштабам загрязнения занимают особое место среди других загрязняющих веществ. Кадмий, свинец и цинк, которые относятся к первому классу опасности, и медь, относящаяся ко второму классу опасности, являются главными загрязнителями почв среди ТМ.

Экологическое состояние земель в большинстве районов области продолжает ухудшаться. В сельском хозяйстве при современном истощительном землепользовании, интенсивном антропогенном воздействии, а также отсутствии мероприятий по улучшению почв практически все земли области подвергнуты процессам деградации. В значительной степени это относится к черноземам [6]. Они являются сильным аккумулятором ТМ, в связи с чем, актуальной становится разработка агро-мелиоративных мероприятий по санации техногенно загрязненных черноземов и получению безопасной продукции растениеводства. На территории Рязанской области черноземы оподзоленные находятся в зоне воздействия энергетического комплекса Рязанская ГРЭС. Исследования влияния выбросов данного предприятия на окружающую среду показали превышение ПДК валовых форм ТМ в почве [5].

Кислая реакция среды, ненасыщенность почвенно-поглощающего комплекса основаниями, потеря кальция приводят к разрушению гуматов кальция и, как следствие, разрушению почвенной структуры, снижению содержания гумуса и буферной способности почвенно-поглощающего комплекса. Хорошо гумусированные почвы поглощают ТМ, переводя их в недоступные соединения в результате химических и физико-химических реакций. При сильной техногенной нагрузке и истощении почва исчерпывает свои возможности по детоксикации

загрязняющих веществ, что может привести к необратимым негативным последствиям.

Цель данной работы заключалась в изучении влияния различных систем удобрений на детоксикацию оподзоленного чернозема, загрязненного тяжелыми металлами.

Для достижения поставленной цели были проведены натурные исследования в лизиметрах с черноземом оподзоленным, загрязненным тяжелыми металлами: Cd – 0,6 мг/кг, Cu – 90 мг/кг, Pb – 40 мг/кг, Zn – 110 мг/кг.

Тестовой культурой служил ячмень, т. к. он обладает высокой толерантностью к тяжелым металлам, способен накапливать их высокие концентрации в фитомассе. Ячмень широко распространен в хозяйствах Рязанской области: он используется для продовольственных и кормовых целей, а также применяется в пивоваренной промышленности.

Для достижения оптимальных условий питания растений и улучшения почв применялись минеральные и органические удобрения (табл. 1). Для тяжелосуглинистого чернозема норма навоза составляла 100 т/га, известкование проводили по полной гидролитической кислотности в пересчете на CaCO_3 – 8 т/га. Ежегодные нормы удобрений применяли на основе рекомендаций для исследуемой зоны в зависимости от культуры. Известно, что севооборот является главным фактором стабильности и эффективности сельскохозяйственного производства. Он позволяет без дополнительных затрат сохранять и воспроизводить плодородие почв, создавать благоприятные фитосанитарные условия в посевах, повышать эффективность использования питательных веществ почв.

Минеральные удобрения $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ в норме применяются ежегодно под предпосевную обработку почвы. В варианте 6, где в комплексе минеральных удобрений доза фосфора P_2O_5 240 кг/1 га была введена под первую культуру (вико-овсяную смесь), под ячмень вносили только $\text{N}_{60}\text{K}_{60}$. Под предпосевную культивацию применили в варианте 5 известь CaCO_3 в той же дозе 8 т / 1 га и минеральные удобрения $\text{N}_{60}\text{P}_{240}\text{K}_{60}$.

Таблица 1 – Схема закладки лизиметрического опыта с оподзоленным черноземом

| Номер варианта | Система удобрений | Сокращенное название варианта |
|----------------|--|-------------------------------|
| 1 | Без удобрений (контроль) | Б/у |
| 2 | Навоз КРС 100 т/га на ротацию звена севооборота (с/о) N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ – ежегодно | H100 NPK по 60 |
| 3 | CaCO ₃ 8 т/га и навоз 100 т/га на ротацию звена с/о N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ – ежегодно | Ca 8, H100 NPK по 60 |
| 4 | CaCO ₃ 8 т/га на ротацию с/о N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ – ежегодно | Ca 8 NPK по 60 |
| 5 | N ₆₀ P ₂₄₀ K ₆₀ CaCO ₃ 8 т/га на ротацию с/о | P240 NK по 60 Ca 8 |
| 6 | P ₂₄₀ на ротацию с/о N ₆₀ K ₆₀ – ежегодно | P240 NK по 60 |

Результаты опытов и их обсуждение

После закладки опыта провели отбор почвенных проб глубиной 0–25 см с каждого лизиметра. В почвенных пробах определяли агрохимические показатели, которые представлены в табл. 2.

Оподзоленный чернозем характеризуется относительно невысоким содержанием гумуса (4,3–5,0 %). Реакция почвы изменялась от слабокислой до близкой к нейтральной: рН 5,1–6,2 (в среднем 5,5).

Емкость поглощения почвенного поглощающего комплекса (ППК) оподзоленного чернозема составила по всем лизи-

метрам около 16 мг-экв./100 г. При этом гидролитическая кислотность колебалась от 1,6 до 5,0 мг-экв./100 г. Вероятно, на двух вариантах, где она составила 1,6–2,1 мг-экв./100 г, известь уже произвела нейтрализующее действие. Обеспеченность усвояемой формой азота и обменным калием низкая, а подвижным фосфором – средняя.

В начале исследований чернозем оподзоленный по своим агрохимическим свойствам характеризовался более низкими показателями по сравнению с данными литературы [7].

Таблица 2 – Результаты агрохимических исследований в начале опыта с оподзоленным черноземом

| № варианта | Варианты | Гумус, % | рН _{ксл} | мг-экв. / 100 г почвы | | V, % | мг/100 г почвы | | N – NO ₃ , мг/кг |
|------------|-------------------------|----------|-------------------|-----------------------|------|------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| | | | | H _г | S | | P ₂ O ₅ | K ₂ O | |
| 1 | Б/у | 4,5 | 5,4 | 3,9 | 12,4 | 76 | 8,8 | 5,1 | 5,2 |
| 2 | H100 NPK по 60 | 5,0 | 5,3 | 4,2 | 12,0 | 74 | 15,1 | 7,1 | 5,7 |
| 3 | Ca 8, H100 NPK по 60 | 5,0 | 6,2 | 1,6 | 15,3 | 91 | 19,5 | 6,8 | 4,7 |
| 4 | Ca 8 NPK по 60 | 4,3 | 6,0 | 2,1 | 13,7 | 82 | 13,6 | 6,2 | 4,4 |
| 5 | P240 NK по 60 Ca 8 | 4,5 | 5,1 | 5,0 | 11,1 | 69 | 16,2 | 5,7 | 5,6 |
| 6 | P240 NK по 60 | 4,4 | 5,2 | 3,9 | 12,2 | 76 | 15,2 | 4,7 | 4,1 |

Примечание. H_г – гидролитическая кислотность; S – сумма обменных оснований; V – степень насыщенности основаниями.

Наиболее агрессивная часть металла – подвижные формы, которые могут быть усвоены непосредственно через корневую систему. Допустимыми считают те формы, которые переходят в определенные вытяжки. Наиболее распространенным экстрагентом для определения содержания подвижных форм ТМ является ацетатно-аммонийный буфер с pH 4,8. Считается, что эта форма тяжелых металлов поступают из почвы в растения, оказывая на последние токсическое действие. Поступление ТМ в растения и микроорганизмы осуществляется в основном через почвенный раствор. Поэтому жидкая фаза почв является непосредственным источником ТМ для почвенной биоты и высших растений.

В табл. 3 представлены результаты определения содержания подвижных форм металлов в оподзоленном черноземе (реагент ацетатно-аммонийный буфер с pH 4,8).

В изучаемом подтипе черноземных почв наибольшая подвижность отмечена у Cd. При содержании его в почве от 0,13 до 0,5 мг/кг она колебалась от 22 до 83 %. В начале исследований водорастворимые фосфаты суперфосфата в почвенном растворе способствовали переводу ТМ в малорастворимые (малоподвижные) формы, что привело к резкому снижению подвижности не только Cd, но и других изучаемых металлов.

Органические удобрения на фоне минеральных удобрений снизили подвижность Cu, Pb, Zn. При добавлении известняковой муки к системе

удобрений получен аналогичный эффект по сравнению с контролем (без удобрений).

Количество растений в рядах было примерно одинаковым, за исключением варианта 5, где известь была внесена в этом году (табл. 4).

При внешнем осмотре посевов отмечались токсичные признаки, особенно сильно выраженные в варианте 1 (без внесения удобрений): сильное пожелтение и подсыхание нижних листьев и пожелтение верхушек растений. В варианте 5, где наряду с ежегодным применением $N_{60}P_{60}K_{60}$ внесли непосредственно под ячмень известь, произошло пожелтение нижних листьев и верхушек растений, а в лизиметрах, где использован навоз под предшествующую культуру (варианты 2 и 3), а в настоящий год – только минеральные удобрения, отмечается также уменьшение образования хлорофилла в листьях у отдельных растений.

Все агрохимические приемы санации загрязненной почвы оказали положительное влияние на линейный рост растений в опыте. Уже в фазу кущения ячменя в лизиметрах, где не вносили удобрения, растения отставали в росте на 28,8–46,5 %, во время колошения на 10,0–11,9 % по сравнению с вариантами, когда применялись различные агрохимические мелиоранты. Лучшие условия для роста растений были созданы на вариантах 2 и 3, где для санации загрязненного чернозема использовался комплекс удобрений, состоящий из навоза, извести и ежегодного внесения полного минерального удобрения, а также на вариантах 4 и 6.

Таблица 3 – Содержание подвижных форм ТМ в оподзоленном черноземе

| № варианта | Варианты | Cd | | Cu | | Pb | | Zn | |
|------------|-------------------------|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|
| | | мг/кг | % | мг/кг | % | мг/кг | % | мг/кг | % |
| 1 | Б/у | 0,47 | 78 | 32,3 | 36 | 31,2 | 78 | 26,3 | 24 |
| 2 | H100 NPK по 60 | 0,49 | 82 | 11,1 | 12 | 20,4 | 51 | 17,3 | 16 |
| 3 | Ca 8, H100 NPK по 60 | 0,50 | 83 | 13,2 | 15 | 10,0 | 25 | 4,2 | 4 |
| 4 | Ca 8 NPK по 60 | 0,41 | 68 | 31,1 | 35 | 12,5 | 31 | 60,0 | 55 |
| 5 | P240 NK по 60 Ca 8 | 0,39 | 65 | 14,0 | 16 | 7,2 | 18 | 67,0 | 61 |
| 6 | P240 NK по 60 | 0,13 | 22 | 0,7 | 1 | 2,5 | 3 | 7,8 | 7 |

Примечание. % – степень подвижности ТМ в почве.

Оптимизация питания сельскохозяйственных культур усиливает их экологические функции, обеспечивая реализацию потенциальной продуктивности растениями, формирование более качественной продукции [8]. Изучаемые системы удобрений показали, что на загрязненной почве внесение известковых, органических и минеральных удобрений улучшает условия произрастания ячменя, хотя и в разной степени (табл. 4).

Отмечено, что применение известняковой муки, органических удобрений под предшествующую культуру и ежегодное внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ (вариант 3) обеспечило максимальную прибавку зерна ячменя – 21,2 ц/га по сравнению с контролем. Существенно меньшее увеличение урожайности наблюдалось на вариантах 6 и 4, где прибавка урожая зерна составила 10,8 и 8,5 ц/га соответственно (табл. 5).

Таблица 4 – Влияние загрязнения тяжелыми металлами оподзоленного чернозема на фенологические показатели ячменя

| № варианта | Варианты | Среднее количество растений на 1 ряд | Высота растений, см | | | | | | Признаки ухудшения развития |
|------------|----------------------|--------------------------------------|---------------------|-----------|------|-----------|-----------|----|---|
| | | | 14.06 | | | 12.07 | | | |
| | | | в среднем | изменения | | в среднем | изменения | | |
| | | см ± | % | | см ± | % | | | |
| 1 | Б/у | 30 | 21,5 | – | – | 72,8 | – | – | Сильное пожелтение и подсыхание листьев и верхушек растений |
| 2 | H100 NPK по 60 | 31 | 29,6 | +8,1 | 38 | 80,3 | +8,0 | 11 | Пожелтение встречается редко |
| 3 | Ca 8, H100 NPK по 60 | 30 | 31,5 | +10,0 | 47 | 80,6 | +8,3 | 11 | Нет изменений |
| 4 | Ca 8 NPK по 60 | 31 | 30,0 | +8,5 | 40 | 79,5 | +7,2 | 10 | Нет изменений |
| 5 | P240 NK по 60 Ca 8 | 27 | 27,7 | +6,2 | 29 | 80,9 | +8,6 | 12 | Пожелтение нижних листьев и верхушек растений |
| 6 | P240 NK по 60 | 31 | 30,0 | +8,5 | 40 | 79,8 | +7,5 | 10 | Нет изменений |

Таблица 5 – Эффективность агрохимических приемов санации загрязненного тяжелыми металлами оподзоленного чернозема

| № варианта | Варианты | Урожайность зерна ячменя, ц/га | | | Урожайность соломы, ц/га | | |
|------------|----------------------|--------------------------------|-----------|-----|--------------------------|-----------|----|
| | | в среднем | изменения | | в среднем | изменения | |
| | | | ц/га | % | | ц/га | % |
| 1 | Б/у | 15,7 | – | – | 12,2 | – | – |
| 2 | H100 NPK по 60 | 32,1 | +16,4 | 104 | 17,3 | +5,1 | 42 |
| 3 | Ca 8, H100 NPK по 60 | 36,9 | +21,2 | 135 | 17,7 | +5,5 | 45 |
| 4 | Ca 8 NPK по 60 | 24,2 | +8,5 | 54 | 16,9 | +4,7 | 39 |
| 5 | P240 NK по 60 Ca 8 | 30,8 | +15,1 | 96 | 20,9 | +8,7 | 71 |
| 6 | P240 NK по 60 | 26,5 | +10,8 | 69 | 18,8 | +6,6 | 54 |

Влияние систем удобрений на урожайность побочной продукции было примерно одинаковым, за исключением варианта 5.

Таким образом, исследования показали, что оподзоленный чернозем, искусственно загрязненный ТМ, сформировал сравнительно незначительную урожайность зерна и соломы. Изучаемые системы удобрений способствовали увеличению выхода как основной, так и побочной продукции, что особенно ощути-мо наблюдалось в варианте с комплексным внесением извести, органики и минеральных удобрений.

В первый год исследований загрязнения внутрипочвенных вод трудно сделать определенные выводы. Но однозначно наметилась тенденция положительного действия всех систем удобрений на снижение содержания кадмия в инфильтрационных водах в 3–5 раз (табл. 6).

В естественных условиях обитания растениям, как правило, приходится сталкиваться

с действием не одного, а нескольких фитотоксикантов. В наших исследованиях проведено искусственное комплексное загрязнение растворимыми солями Cd, Cu, Pb, Zn. Сельскохозяйственные культуры на загрязненных ТМ почвах могут накапливать под их действием биомассу, а полученная продукция будет иметь хороший товарный вид, однако содержание ТМ окажется высоким.

Разработанные ПДК загрязнителей позволяют оценивать уровень загрязненности продукции [9] (табл. 7).

При известковании на фоне NPK (вариант 4) и запасном внесении фосфора (P240) и NK по 60 кг/га (вариант 6) содержание кадмия в зерне не превысило ПДК, как и в других вариантах опыта. Однако следует отметить, что содержание данного поллютанта оказалось здесь наименьшим. Концентрация меди и цинка не вызывает опасений. Уровень свинца в зерне превысил ПДК только в варианте без удобрений.

Таблица 6 – Содержание загрязняющих веществ во внутрипочвенных водах

| № варианта | Варианты | Тяжелые металлы, мг/л | | | |
|------------|-------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|
| | | Cd | Cu | Pb | Zn |
| 1 | Б/у | 0,0015 | 0,0012 | 0,0070 | 0,0048 |
| 2 | H100 NPK по 60 | 0,0006 | 0,0021 | 0,0062 | 0,0051 |
| 3 | Ca 8, H100 NPK по 60 | 0,0007 | 0,0023 | 0,0162 | 0,0208 |
| 4 | Ca 8 NPK по 60 | 0,0005 | 0,0012 | 0,0088 | 0,0040 |
| 5 | P240 NK по 60 Ca 8 | 0,0003 | 0,0017 | 0,0074 | 0,0041 |
| 6 | P240 NK по 60 | 0,0008 | 0,016 | 0,0082 | 0,0059 |
| | ПДК | 0,001 | 1,0 | 0,03 | 1,0 |

Таблица 7 – Влияние систем удобрений на содержание тяжелых металлов в ячмене на загрязненном оподзоленном черноземе

| № варианта | Варианты | Зерно ячменя, мг/кг | | | |
|------------|-------------------------|---------------------|------|------|------|
| | | Cd | Cu | Pb | Zn |
| 1 | Б/у | 0,18 | 4,85 | 0,98 | 18,2 |
| 2 | H100 NPK по 60 | 0,07 | 4,93 | 0,16 | 28,4 |
| 3 | Ca 8, H100 NPK по 60 | 0,09 | 5,0 | 0,41 | 48,7 |
| 4 | Ca 8 NPK по 60 | 0,1 | 4,97 | 0,48 | 30,0 |
| 5 | P240 NK по 60 Ca 8 | 0,08 | 5,38 | 0,37 | 31,3 |
| 6 | P240 NK по 60 | 0,1 | 3,86 | 0,46 | 29,3 |
| | ПДК | 0,1 | 10,0 | 0,5 | 50,0 |

Заклучение

Чернозем оподзоленный, загрязненный тяжелыми металлами, по агрохимическим свойствам характеризуется более низкими показателями (в среднем): содержание гумуса 4,6 %, реакция почвы – слабокислая (рН 5,5), емкость поглощения почвенно-поглощающего комплекса – около 16 мг-экв./100 г. Обеспеченность усвояемой формой азота и обменным калием низкая, подвижным фосфором – средняя. Гидролитическая кислотность составила 1,6–2,1 мг-экв./100 г в вариантах с внесением извести. Фенологические наблюдения показали, что все системы удобрений способствовали улучшению роста и развития растений. Однако лучше всего развивался ячмень при

известковании и совместном внесении органических и минеральных удобрений, что обеспечило максимальную прибавку зерна ячменя – 21,2 ц/га по сравнению с контрольным вариантом. Все системы удобрений способствовали снижению инфильтрации кадмия во внутрпочвенные воды в 2–5 раз. Содержание ТМ в зерне в вариантах, где проводилась санация загрязненной почвы, не превышало ПДК.

Таким образом, изучаемые системы удобрений положительно влияют на агрохимические, экологические показатели, а также повышают продуктивность загрязненного ТМ оподзоленного чернозема, накопление растениями ТМ идет неоднозначно.

Библиографический список

1. Акчурина, О. С. Совершенствование технологий выращивания и хранения моркови в учреждениях УИС / О. С. Акчурина // Актуальные вопросы материально-технического снабжения органов и учреждений уголовно-исполнительной системы : материалы Всероссийского научно-практического круглого стола. – Рязань : Отделение полиграфии РИО Академии ФСИН России, 2017. – С. 58-62.
2. Возделывание сортов и гибридов подсолнечника в Рязанской области / Д. В. Виноградов [и др.] // Преступление, наказание, исправление : тезисы выступлений и докладов участников междунар. науч.-практ. конф. / Академия ФСИН России. – Рязань : Академия ФСИН России, 2017. – С. 204-207.
3. Терентьев, А. С. Повышение урожайности зерновых культур, возделываемых в подсобных хозяйствах учреждений уголовно-исполнительной системы / А. С. Терентьев // Актуальные вопросы материально-технического снабжения органов и учреждений уголовно-исполнительной системы : материалы Всероссийского научно-практического круглого стола. – Рязань : Отделение полиграфии РИО Академии ФСИН России, 2017. – С. 82-87.
4. Черникова, О. В. Приемы восстановления плодородия черноземных почв, загрязненных тяжелыми металлами / О. В. Черникова, А. Н. Карпов // Агрохимический вестник. – 2014. – № 2. – С. 24-25.
5. Черникова, О. В. Экологическое обоснование комплексных приемов реабилитации черноземов, загрязненных тяжелыми металлами (на примере Рязанской области) : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / О. В. Черникова ; Российский государственный аграрный университет. – Рязань, 2010. – 178 с.
6. Евтюхин, В. Ф. Влияние агрохимической мелиорации загрязненного тяжелыми металлами оподзоленного чернозема на урожайность сельскохозяйственных культур / В. Ф. Евтюхин, О. В. Черникова, А. Н. Карпов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 2 – С. 17-19.
7. Агрохимия / под ред. Б. А. Ягодина. – 2-е изд. – М. : Агропромиздат, 1989. – 639 с.
8. Минеев, В. Г. Агрохимия / В. Г. Минеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГУ, 2004. – 720 с.
9. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах : СанПиН 42-123-4089-86. – 11 с.

Поступила 14.05.2019

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ЗЕМЕЛЬ – ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП ИХ РЕАБИЛИТАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ)

О. А. Мерзлова, научный сотрудник

ГНУ «НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь»,
г. Могилев, Беларусь

Аннотация

Загрязнение сельскохозяйственных земель Республики Беларусь в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС долгоживущими радионуклидами потребовало изменения практики ведения агропромышленного производства. Радикальной защитной мерой стало выведение из оборота земель, на которых не гарантировалось производство нормативно-чистой продукции. В статье на основе распорядительных документов и ведомственной информации приведен подробный анализ динамики их изъятия в Могилевской области, уточнена современная ведомственная принадлежность. Восстановление информации о точном местоположении локальных участков позволило провести радиологическое и культуртехническое обследование. Результатом инвентаризации выведенных из оборота земель стало создание геоинформационной базы данных и оценка возможности их возврата.

Ключевые слова: сельскохозяйственный оборот, радиационно опасные земли, радиоактивное загрязнение, ведомственная принадлежность, местоположение.

Abstract

V. A. Miarzlova

INVENTORY OF LAND POSING A RADIATION HAZARD. THE PREPARATORY PHASE OF REHABILITATION (ON THE EXAMPLE OF MOGILEV REGION)

Contamination of agricultural land of the Republic of Belarus with long-lived radionuclides as a result of the Chernobyl disaster required a change in the practice of agro-industrial production. Radical protective measure was the removal from circulation of land, which was not guaranteed production of standard clean production. In article on the basis of administrative documents and departmental information provides a detailed analysis of the dynamics of their withdrawal in the Mogilev region, updated current departmental affiliation. Restoration of information about the exact location of local sites allowed to conduct radiological and cultural survey. The results of the inventory of land withdrawn from circulation in connection with radioactive contamination, was the creation of the geographic information database and assessment of the return possibility.

Keywords: agricultural use, radioactive contamination, land posing a radiation hazard, departmental affiliation, location.

Введение

Почвенно-земельные ресурсы занимают особое место среди других природных ресурсов: они являются национальным достоянием страны, от их рационального использования зависит устойчивое социально-экономическое развитие и экологическое благополучие.

Загрязнение сельскохозяйственных земель Республики Беларусь долгоживущими радионуклидами, возникшее в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, стало причиной существенного изменения подходов и практики ведения сельскохозяйственного производства. Данный вид деградации

земель, наряду с 20 прочими, в Республике Беларусь относится к наиболее существенным [1].

Сложная радиационная обстановка в послеаварийный период обусловила принципиально новые подходы к организации производства и масштабных защитных мер в сельском хозяйстве. Одной из консервативных мер стало изъятие из оборота 265 тыс. га земель, на которых не гарантировалось производство нормативно-чистой продукции.

Выведенные из оборота земли вошли в состав зон отчуждения и отселения. Зона отчуждения, или 30-километровая зона, представляет собой наиболее загрязненную

радионуклидами территорию. Наибольшую ее часть составляют земли Брагинского, Хойникского и Наровлянского районов. Они входят в состав Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. Основная часть этой территории вследствие высокой плотности радиоактивного загрязнения не может быть возвращена в сельскохозяйственный оборот даже в отдаленной перспективе.

Крупные массивы радиационно опасных земель, вошедшие в зону отселения, сосредоточены в Брагинском, Ветковском, Кормянском, Жлобинском районах Гомельской области, в Костюковичском, Краснопольском, Славгородском и Чериковском районах Могилевской области.

За послеаварийный период радиоэкологическая ситуация в республике существенно изменилась. В результате естественного распада радионуклидов снизилась плотность радиоактивного загрязнения почв, уменьшилась биологическая доступность ^{137}Cs , на части земель появилась возможность производить нормативно-чистую продукцию. Вопрос о ре-

Результаты и их обсуждение

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» земли, находящиеся на территории радиоактивного загрязнения, на которых невозможно или ограничено производство нормативно-чистой по содержанию радионуклидов продукции, относятся к радиационно опасным землям [3].

По данным радиологического обследования 1988 г. всего в Могилевской области в зону «жесткого» контроля попало 38 сельскохозяйственных предприятий: в Славгородском районе – 11, Краснопольском – 9, Костюковичском – 8, Чериковском – 7, Климовичском – 2, Быховском районе – 1 (табл. 1).

Сельскохозяйственные земли данных предприятий (156,5 тыс. га) полностью подверглись загрязнению ^{137}Cs . В разрезе плотностей загрязнения ситуация складывалась следующим образом:

абилитации земель, признанных радиационно опасными 30 лет назад, в последние годы поднимается довольно часто на государственном уровне. Однако его рассмотрение, а также формирование стратегии стало возможным лишь после проведения комплексной инвентаризации земель.

Объекты и материалы исследования

Объектом исследования являются земли, выведенные из сельскохозяйственного оборота после катастрофы на Чернобыльской АЭС в связи с радиоактивным загрязнением, не позволяющим производить нормативно-чистую продукцию. Детальный анализ проведен на примере земель Могилевской области на основе нормативных документов об изъятии земель, по ретроспективным данным, предоставленным землеустроительной службой Могилевского облисполкома, Могилевской ОПИСХ. Информация о современном распределении земель приведена из Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь [2].

- 37–185 кБк/м² (или 1–5 Ки/км²) – 7,3 %,
- 185–555 кБк/м² (5–15 Ки/км²) – 38,1 %,
- 555–1480 кБк/м² (15–40 Ки/км²) – 42,3 %,
- 1480–2960 Бк/м² (40–80 Ки/км²) – 10,3 %,
- более 2960 кБк/м² (80 Ки/км²) – 1,9 %.

Первоочередному исключению из сельскохозяйственного оборота подлежали земли, загрязненные ^{137}Cs от 1480 кБк/м² (40 Ки/км²) и выше общей площадью 19,2 тыс. га, на которых запрещено вести сельскохозяйственное производство. Наибольшая их доля пришлась на Костюковичский (35,4 % земель данной плотности загрязнения), Краснопольский (33,6 %) и Чериковский (20,3 %) районы.

Кроме того, на значительной площади земель, загрязненных ^{137}Cs ниже 1480 кБк/м² (40 Ки/км²), получение продукции в соответствии с допустимыми нормативами оказалось невозможным даже при условии проведения комплекса защитных мероприятий.

Таблица 1 – Экспликация сельскохозяйственных земель зоны «жесткого» контроля на 01.09.1988

| Наименование | Всего земель в обороте, тыс. га | Из них по плотности загрязнения ¹³⁷ Cs, тыс. га | | | | |
|------------------------------------|---------------------------------|--|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| | | 37–185 кБк/м ² | 185–555 кБк/м ² | 555–1480 кБк/м ² | 1480–2960 кБк/м ² | более 2960 кБк/м ² |
| Климовичский район, всего | 6,85 | 1,00 | 2,60 | 3,20 | 0,05 | – |
| к-з «Герой труда» | 3,25 | 1,00 | 1,70 | 0,50 | 0,05 | – |
| с-з «Савиничи» | 3,60 | – | 0,90 | 2,70 | – | – |
| Костюковичский район, всего | 37,00 | 2,10 | 8,60 | 19,50 | 6,80 | 0,00 |
| с-з «Печенеж» | 4,10 | – | 1,00 | 2,60 | 0,50 | – |
| с-з «Самотевици» | 5,70 | – | – | 2,90 | 2,80 | – |
| с-з «Братский» | 4,10 | – | 0,20 | 3,50 | 0,40 | – |
| с-з «Заречный» | 5,00 | – | 1,70 | 1,80 | 1,50 | – |
| к-з «Кронштадт» | 4,60 | – | 1,00 | 2,00 | 1,60 | – |
| с-з «Дуброва» | 5,40 | 0,70 | 2,20 | 2,50 | – | – |
| к-з им. К. Маркса | 4,30 | – | 0,30 | 4,00 | – | – |
| с-з «Забычанье» | 3,80 | 1,40 | 2,20 | 0,20 | – | – |
| Краснопольский район, всего | 39,15 | 5,80 | 10,60 | 16,30 | 4,70 | 1,75 |
| к-з им. Жданова | 3,15 | – | 0,20 | 1,80 | 1,10 | 0,05 |
| к-з «Ленинский путь» | 2,70 | 0,30 | – | 1,30 | 0,60 | 0,50 |
| с-з «Заводокский» | 5,20 | – | 1,30 | 3,30 | 0,10 | 0,50 |
| с-з «Холмянский» | 5,10 | – | 2,80 | 0,60 | 1,00 | 0,70 |
| с-з «Палужский» | 5,70 | – | 2,30 | 2,40 | 1,00 | – |
| с-з «Краснопольский» | 5,30 | – | 0,20 | 4,30 | 0,90 | – |
| к-з «Парижская коммуна» | 2,10 | – | 0,40 | 1,70 | – | – |
| к-з им. Энгельса | 4,90 | 1,50 | 3,20 | 0,20 | – | – |
| с-з им. Калинина | 4,90 | 4,00 | 0,20 | 0,70 | – | – |
| Быховский район, всего | 3,50 | – | 3,00 | 0,20 | 0,20 | – |
| к-з «Родина» | 3,50 | – | 3,00 | 0,20 | 0,20 | – |
| Славгородский район, всего | 48,60 | 2,50 | 28,00 | 16,30 | 1,80 | – |
| к-з им. Жданова | 3,60 | – | 0,10 | 3,00 | 0,50 | – |
| к-з им. Куйбышева | 3,20 | – | – | 1,90 | 1,30 | – |
| к-з «Вперед» | 4,60 | – | 4,00 | 0,60 | – | – |
| к-з «40 лет Октября» | 3,50 | 0,10 | 2,60 | 0,80 | – | – |
| к-з «Октябрь» | 4,20 | – | 3,50 | 0,70 | – | – |
| к-з им. Ленина | 4,80 | – | 4,00 | 0,80 | – | – |
| к-з им. Калинина | 3,50 | – | 2,60 | 0,90 | – | – |
| к-з им. Суворова | 5,00 | – | 2,90 | 2,10 | – | – |
| к-з «Заря» | 7,40 | – | 5,10 | 2,30 | – | – |
| с-з «Память Фрунзе» | 4,40 | – | 2,00 | 2,40 | – | – |
| с-з «Лесная» | 4,40 | 2,40 | 1,20 | 0,80 | – | – |

| Наименование | Всего земель в обороте, тыс. га | Из них по плотности загрязнения ¹³⁷ Cs, тыс. га | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|--|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| | | 37–185 кБк/м ² | 185–555 кБк/м ² | 555–1480 кБк/м ² | 1480–2960 кБк/м ² | более 2960 кБк/м ² |
| Чериковский район, всего | 21,50 | 0,10 | 6,80 | 10,70 | 2,60 | 1,30 |
| к-з «Молодая Гвардия» | 2,00 | 0,10 | 0,10 | 1,30 | 0,50 | – |
| к-з «Красный пахарь» | 2,10 | – | 1,10 | 0,60 | 0,40 | – |
| к-з «Октябрь» | 2,70 | – | 0,60 | 1,60 | 0,50 | – |
| с-з «Знамя» | 4,50 | – | 1,30 | 0,70 | 1,20 | 1,30 |
| к-з им. Ильича | 3,20 | – | 0,70 | 2,50 | – | – |
| к-з «Страна Советов» | 2,80 | – | 0,70 | 2,10 | – | – |
| к-з «Большевик» | 4,20 | – | 2,30 | 1,90 | – | – |
| Всего по 38 хозяйствам | 156,50 | 11,50 | 59,60 | 66,20 | 16,15 | 3,05 |

Примечание. Приведены данные Могилевской ОПИСХ.

Согласно распоряжениям Совета Министров БССР в Могилевской области изъятию подлежало 39 264 га земель. После уточнения радиационной обстановки на основании годовых землеустроительных отчетов, где в составе общей площади сельскохозяйственных угодий выделялись загрязненные радионуклидами земли, из оборота были изъяты дополнительные площади. Всего в период с 1986 по 1992 гг. Советом Министров БССР были приняты следующие распоряжения и постановления об исключении земель: № 920 от 28.11.1986 – 275 га, № 24 от 02.02.1988 – 5946 га, № 38 от 17.01.1989 – 2261 га, № 587р от 29.12.1989 – 34 837 га, № 312р от 30.06.1989 – 3757 га, № 571р от 13.12.1990 – 671 га, № 58 от 01.02.1991 – 2043 га.

Однако площади, указанные в данных документах, не подлежат прямому суммированию, поскольку более поздние распорядительные документы включали площади, по каким-либо причинам не изъятые в предшествующий период. В отдельных случаях распоряжения носили накопительный характер. Например, 275 га, изъятые в 1986 г., вошли в состав перечня более позднего распоряжения.

Фактически по данным Могилевской областной землеустроительной службы в области в общей сложности за период 1987–1992 гг. из оборота выбыли 46 648 га сельскохозяйственных

земель и получили статус радиационно опасных (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 22.10.1992 № 641) (табл. 2). В их составе площадь пахотных земель составила 15 184 га (32 %). Это сельскохозяйственные земли 12 районов области, большая часть которых (свыше 80 %) сосредоточена на территории Краснопольского, Костюковичского, Славгородского и Чериковского районов.

В структуре земель по плотности радиоактивного загрязнения ¹³⁷Cs наибольшая доля приходилась на участки с загрязнением свыше 40,0 Ки/км² – 50,4 %, далее по убывающей: 555–1480 кБк/м² (15,0–39,9 Ки/км²) – 17,6 %, 185–555 кБк/м² (5,0–14,9 Ки/км²) – 16,9 %, 37–185 кБк/м² (1,0–4,9 Ки/км²) – 15,0 % (табл. 3).

В связи с невозможностью ведения сельскохозяйственного производства в долгосрочной перспективе значительная площадь передана для лесоразведения. Позднее эта цифра увеличивалась за счет участков, на которых развились процессы естественного зарастания. По состоянию на 01.01.2014 около 72 % радиационно опасных земель оказались в ведомстве лесохозяйственных организаций (рис. 1). Около 22 % площади оставалась на балансе сельскохозяйственных организаций, районных и сельских исполнительных комитетов [4]. Данная информация остается актуальной и по состоянию на 01.01.2019 [2].

Таблица 2 – Динамика исключения земель Могилевской области из сельскохозяйственного пользования

| Район | Площади изъятых земель в динамике, га | | | | | |
|----------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| | 1987 г. | 1988 г. | 1989 г. | 1990 г. | 1992 г. | Всего за период |
| Бельничский | – | – | 633 | 68 | – | 701 |
| Быховский | 10 | – | 1332 | – | – | 1342 |
| Кировский | – | – | – | 410 | – | 410 |
| Климовичский | 265 | – | 124 | – | 314 | 703 |
| Кличевский | – | – | 654 | 6 | – | 660 |
| Костюковичский | 2859 | – | 6058 | – | 566 | 9483 |
| Краснопольский | 1124 | 1131 | 6761 | 130 | 785 | 9931 |
| Кричевский | – | – | 1821 | – | – | 1821 |
| Могилевский | – | – | – | 965 | – | 965 |
| Славгородский | 942 | – | 7596 | 25 | 1059 | 9622 |
| Чаусский | – | – | 1259 | 14 | – | 1273 |
| Чериковский | 746 | 1130 | 7129 | 314 | 418 | 9737 |
| Итого | 5946 | 2261 | 33 367 | 1932 | 3142 | 46 648 |

Таблица 3 – Распределение выведенных из сельскохозяйственного пользования земель по плотности загрязнения ^{137}Cs

| Плотность загрязнения ^{137}Cs , кБк/м ² | Площадь земель в динамике, га | | | | | |
|--|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| | 1987 г. | 1988 г. | 1989 г. | 1990 г. | 1992 г. | всего за период |
| Менее 37 | – | – | – | 5 | – | 5 |
| 37–185 | – | – | 5973 | 1038 | – | 7011 |
| 185–555 | 175 | – | 7255 | 458 | – | 7888 |
| 555–1480 | 2812 | – | 3833 | 95 | 1477 | 8217 |
| 1480 и выше | 2959 | 2261 | 16 306 | 336 | 1665 | 23 527 |
| Всего | 5946 | 2261 | 33 367 | 1932 | 3142 | 46 648 |

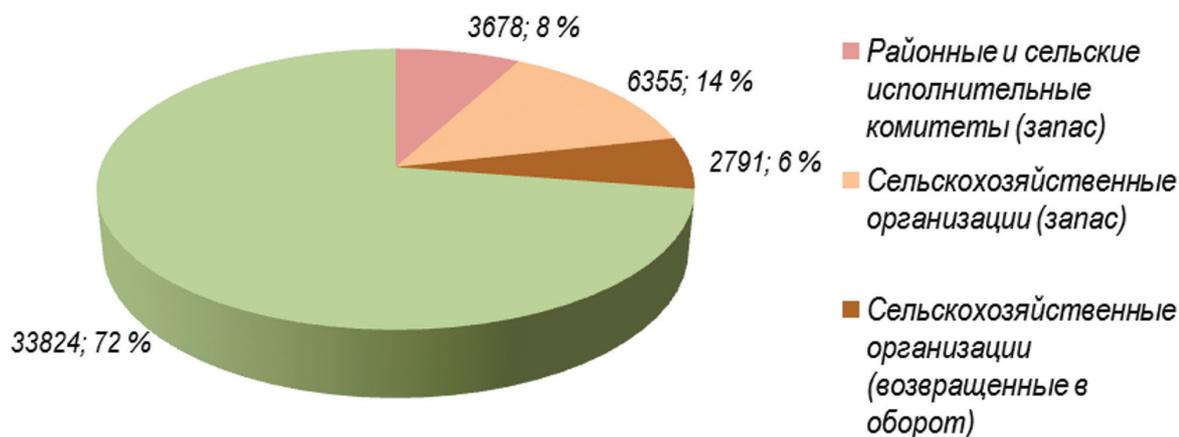


Рисунок 1 – Современное ведомственное распределение изъятых земель (на 01.01.2014–2019)

Исключение земель из категории радиационно опасных осуществляется Советом Министров Республики Беларусь в установленном им порядке. Инициатором выступает республиканский орган государственного управления, осуществляющий регулирование и управление в области преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, на основании предложений областных исполнительных комитетов. Далее на основе полученных экспертных заключений осуществляется согласование с контролирующими и заинтересованными министерствами (Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды; Министерством сельского хозяйства и продовольствия; Министерством лесного хозяйства; Министерством здравоохранения) [4].

За прошедший период неоднократно поступали ходатайства о возврате земель

в производство. Суммарная величина по запросам Могилевской области составила 8171 га. Следует отметить, что данная цифра не отражает площади земель в географическом понимании, поскольку запросы поступали повторно. В целом на основании заключений экспертов отрицательное решение о возврате принято в отношении 4193,1 га (9 %); для ограниченного хозяйственного пользования за весь период возвращено 2791,2 га, или 6 % (табл. 4).

Всего согласно Реестру земельных ресурсов Республики Беларусь на 01.01.2014 в Могилевской области числилось 43,5 тыс. га загрязненных радионуклидами земель, выбывших из сельскохозяйственного оборота (актуально на 01.01.2019). Распределение данной площади между районами и видами землепользователей представлено на рис. 2.

Таблица 4 – Динамика перевода земель из разряда земель отчуждения в ограниченное хозяйственное пользование

| Район | Площадь земель, га | | |
|----------------|---------------------------------------|--------------------|--------|
| | Ходатайство Могилевского облисполкома | Решение о возврате | Отказ |
| Климовичский | 1291,4 | 631,5 | 659,9 |
| Костюковичский | 5668,1 | 1679,2 | 2802,4 |
| Краснопольский | 837,3 | 413,5 | 423,8 |
| Чериковский | 374,0 | 67,0 | 307,0 |
| Всего | 8170,8 | 2791,2 | 4193,1 |

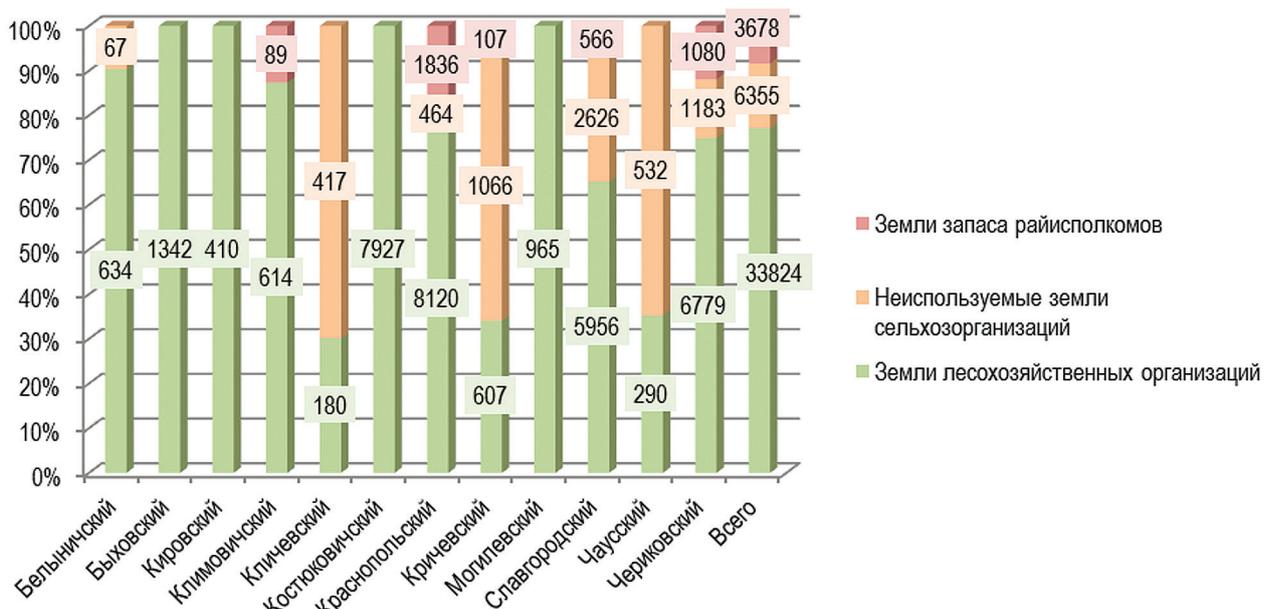


Рисунок 2 – Ведомственное распределение площади земель, выбывших из сельскохозяйственного оборота (по состоянию на 01.01.2014–2019), га

Одним из информационных пробелов, сформировавшихся за истекший период, стала утрата информации о местоположении участков. Данные, приведенные выше, уточняют общую площадь и ведомственную принадлежность земель в разрезе районов в целом, но не дают точной территориальной привязки отдельных участков. В связи с этим в период 2011–2013 гг. в РНИУП «Институт радиологии» проведена кропотливая работа по установлению местоположения земель (Могилевской и Гомельской областей). На ее основе с использованием геоинформационной программы *MapInfo Professional* создана общая база данных земель, выведенных из оборота, – *Inventorization* [5].

Сформировано два растровых слоя. Слой *forest* включает контуры земель, переданные лесохозяйственным организациям. Слой *agro* содержит контуры земель на балансе районных и сельских исполнительных комитетов, сельскохозяйственных предприятий и прочие неиспользуемые земли, имеющие обобщенное название «Земли запаса». В него также занесены отдельные участки, длительное время

входившие в состав специально охраняемой зоны, составляющие запас Климовичского и Славгородского районов Могилевской области, по которым не удалось восстановить исходные документы. Всего слой *agro* включает контуры около 11 тыс. га земель.

Ниже приведена картосхема, демонстрирующая результат проделанной работы и территориальное рассредоточение локальных участков Краснопольского района (рис. 3). Анализ свидетельствует о существенной территориальной группировке земель, переданных лесохозяйственным организациям, и значительном рассредоточении участков, составляющих запас, некоторой удаленности последних от функционирующих сельскохозяйственных предприятий.

Работа по уточнению местоположения участков дала возможность последующего радиологического и культуртехнического обследования земель с целью оценки целесообразности их возврата в сельскохозяйственный оборот. Полученные результаты также стали составной частью упомянутой базы данных.

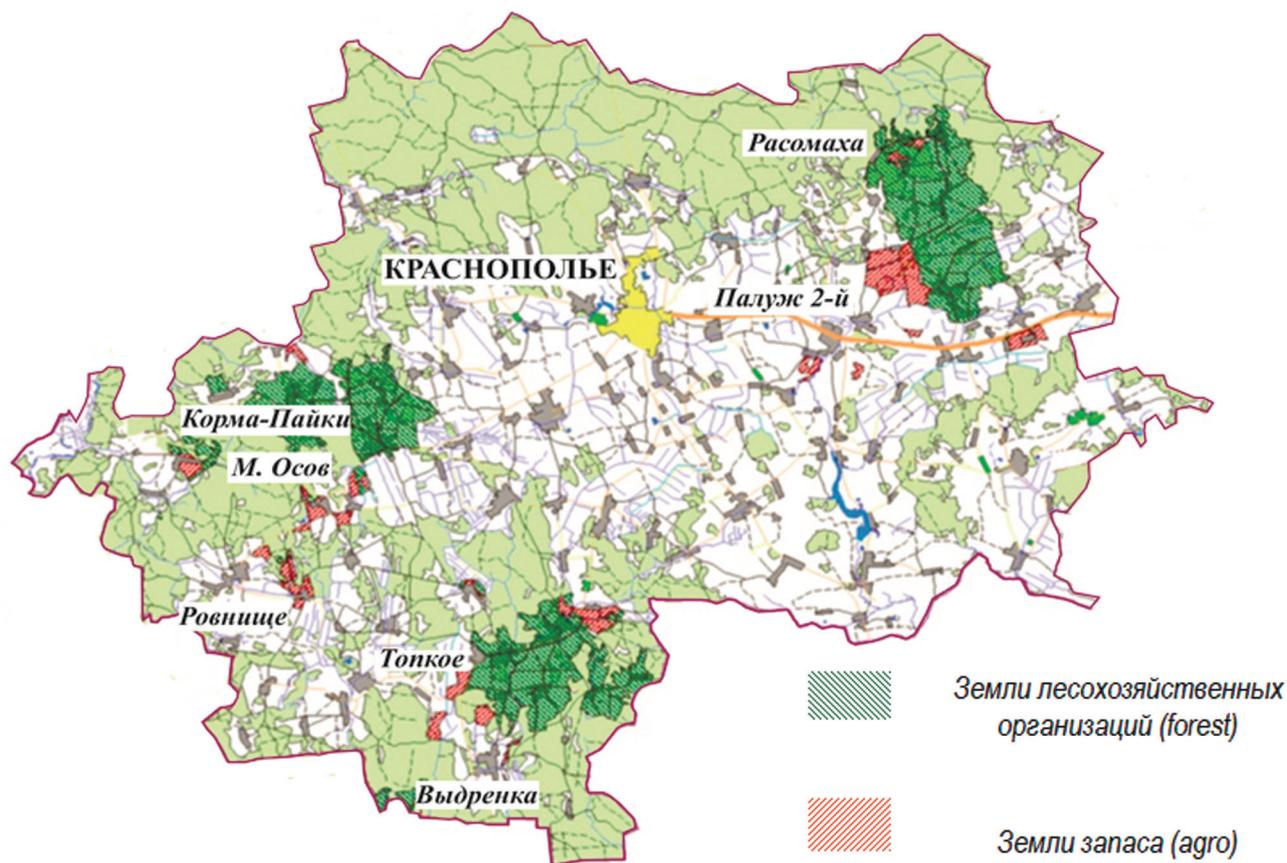


Рисунок 3 – Картосхема размещения участков Краснопольского района

База данных слоя *forest* содержит информацию о принадлежности земель лесхозам, лесничествам, кварталам, их площади. В целом по Могилевской области из земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота и переданных для лесоразведения, выделен 1058 участок. Они входят в состав 824 кварталов 44 лесничеств 11 лесхозов. Половина данной площади по состоянию на 01.01.2013 покрыта лесными насаждениями. Значительная часть отведена под естественное зарастание и болота. Вопрос о возврате в сельскохозяйственное производство может быть инициирован лишь в отношении пустырей, пойменных и неиспользуемых земель, которые составили не более 10 % площади земель.

В слое *agro* выделено 563 локальных участка земель Могилевской области, к которым прикреплены результаты инвентаризации и культуртехнического обследования. Основными из них являются: землевладелец, географическая долгота, географическая широта, мощность дозы γ -излучения, закусаренность, диаметр стволов, закусаренность, заболоченность,

Заключение

Проведение комплексной оценки земель Могилевской области, выведенных из оборота в связи с радиоактивным загрязнением, и выработка предложений для долгосрочной стратегии стала возможной после их комплексной инвентаризации: изучения распорядительных документов, упорядочивания картографических материалов и осуществления территориальной привязки локальных участков, определения ведомственной принадлежности.

Современное состояние бывших радиационно опасных земель Могилевской области дает общее представление об изменении радиологической обстановки, степени деградации и их ведомственной принадлежности в целом. Значительная их часть – 72 % (33,9 тыс. га) – находится в распоряжении лесохозяйственных организаций. Резервом

форма контура, потенциальная длина гона, удаленность от дороги, тип дороги, расстояние до ближайшего крупного населенного пункта, преобладающий тип почвы, дополнительный тип почвы, общая характеристика участка, площадь, характеристика естественно-исторического производственного потенциала, номер решения об изъятии из оборота). Установлено, что осушительной мелиорации требует 28 % площади, культуртехнической – 88 %, из них 7,9 % не имеют сельскохозяйственного потенциала [6].

Параллельно проведено радиологическое обследование земель слоя *agro*. Недопустимая для хозяйственной деятельности плотность загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr фиксируется на 3,5 % территории [6].

Полученная информация позволила провести комплексную оценку целесообразности возврата неиспользуемых до настоящего времени земель, выведенных из оборота как радиационно опасных. В Могилевской области из их числа возможен возврат 2503,4 га или 23 % неиспользуемых [6].

для сельскохозяйственного производства может служить не более 10 % данной площади. В ограниченное пользование возвращено 6 %. В запасе райисполкомов и сельскохозяйственных организаций 11 тыс. га. Анализ местоположения участков свидетельствует о существенной территориальной группировке земель лесохозяйственных организаций и значительном рассредоточении участков, составляющих запас, некоторой удаленности последних от функционирующих сельскохозяйственных предприятий.

Эколого-экономическая оценка земель Могилевской области, изъятых как радиационно опасные, проведенная на основании данных культуртехнического и радиологического обследования, установила возможность возврата 2503,4 га или 23% земель запаса.

Библиографический список

1. О мелиорации земель : Закон Респ. Беларусь, 23 июля 2008 г., № 423-З : в ред. Законов Респ. Беларусь от 01.07.2010 г., от 15.07.2010 г., от 14.07.2011 г., от 04.01.2014 г., от 17.07.2018 г. // Консультант Плюс : Беларусь. технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
2. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2019 года) [Электронный ресурс] / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – Режим доступа: http://gki.gov.by/ru/activity_branches-land-reestr/. – Дата доступа: 12.07.2019.
3. О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС : Закон Респ. Беларусь, 26 мая 2012 г., № 385-З // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2012. – № 63. – 2/1937.
4. Мерзлова, О. А. Особенности перевода радиационно опасных земель в ограниченное хозяйственное пользование / О. А. Мерзлова // Проблемы экологии и экологической безопасности : материалы науч.-практ. конф., Минск, 12 июня 2014 г. / ГУ «КИИ» МЧС РБ ; редкол. : И. И. Полевода [и др.]. – Минск : КИИ, 2014. – С. 70–72.
5. Седукова, Г. В. Инвентаризация земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота после катастрофы на Чернобыльской АЭС / Г. В. Седукова, С. А. Исаченко, О. А. Мерзлова // 30 лет после чернобыльской катастрофы. Роль Союзного государства в преодолении ее последствий : материалы науч.-практ. конф., Горки, 29–30 октября 2015 г. / БГСХА ; редкол. : П. А. Саскевич [и др.]. – Горки : БГСХА, 2015. – С. 336–341.
6. Мерзлова, О. А. Радиологическое и экономическое обоснование возврата радиационно опасных земель в сельскохозяйственное пользование / О. А. Мерзлова, Н. Н. Цыбулько // Мелиорация. – 2018. – № 3 (85). – С. 85–93.

Поступила 15.07.2019

АНАЛИЗ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ СБРОСОВ СТОЧНЫХ ВОД С ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

Э. И. Михневич, доктор технических наук, профессор

Е. А. Василевская, студентка

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Беларусь

Аннотация

Приведен сравнительный анализ применяемых методик расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, сбрасываемых с городских очистных сооружений в естественные водные объекты. Он показал, что значения допустимых концентраций, назначаемые с учетом наилучших доступных технологий и дифференцированные по эквивалентной численности населения, значительно превышают значения по расчетным формулам и в среднем в 10–20 раз выше ПДК. Разработаны формулы для определения длины участка водотока, на котором допускаемые концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах снижаются до значений ПДК. На этой длине нельзя допускать еще один сброс сточных вод с очистных сооружений во избежание экологического ущерба водному объекту. Показано, что для повышения точности значения коэффициента, учитывающего гидравлические условия смешения сточных вод с водой водотока, следует вводить в расчетную формулу коэффициент Шези и функцию скоростного коэффициента, а не принимать осредненное значение их произведения. Если очищенные сточные воды отводятся в естественный водоток через водопроводящий канал, то рекомендуется учитывать ассимилирующую способность канала.

Ключевые слова: *очистные сооружения, водные объекты, ассимилирующая способность водотока, методика нормирования отведения сточных вод, допускаемые концентрации загрязняющих веществ.*

Abstract

E. I. Mikhnevich, E. A. Vasileuskaya

ANALYSIS OF THE CURRENT SYSTEM OF NORMALIZATION OF SEWAGE DISCHARGES FROM URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS INTO WATER BODIES AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO ITS IMPROVEMENT

A comparative analysis of the applied methods for calculating the permissible concentrations of pollutants in sewage discharged from urban wastewater treatment plants into natural water bodies is given. It showed that the values of permissible concentrations assigned taking into account the best available technologies and differentiated by the equivalent population significantly exceed the values according to the calculation formulas and an average of 10–20 times higher than MPC. Formulas for determining the length of a section of a watercourse in which the permissible concentrations of pollutants in treated wastewater are reduced to MPC values are developed. At this length, one should not allow another discharge of wastewater from treatment plants in order to avoid environmental damage to the water body. It is shown that in order to increase the accuracy of determining the coefficient taking into account the hydraulic conditions for mixing wastewater with water of the watercourse, Shesí's coefficient and the function of the speed coefficient should be entered into the calculation formula, and not the average value of their product should be taken. If the treated wastewater is discharged into natural watercourse through the water channel, it is recommended to take into account channel assimilative capacity.

Keywords: *wastewater treatment plants, water bodies, the assimilating capacity of a watercourse, the method of normalization sewage discharges, permissible concentrations of pollutants.*

Введение

Сточные воды, поступающие из городских очистных сооружений, как правило, сбрасываются в естественные водные объекты. Чтобы не наносить ущерб экологической системе этих объектов, разработаны нормативно-правовые документы [1–8], согласно которым

производится расчет допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах на выходе из очистных сооружений. Основой методики таких расчетов является учет ассимилирующей способности водотока с определением допустимой концентрации в контрольном

створе на расстоянии 500 м от места сброса сточных вод. В 2006–2010 гг. значения предельно допустимых концентраций (ПДК) значительно различались для двух категорий водотоков: рыбохозяйственного и культурно-бытового назначения [1–3]. Более строгие требования предъявлялись к нормированию сброса сточных вод в водотоки рыбохозяйственного назначения. Используемые современные экономически целесообразные технологии очистки сточных вод не могли обеспечить эти требования, и водопроводно-канализационные предприятия были вынуждены платить большие штрафы [9, 10].

Развитие водоочистных технологий в 2000–2010 гг. и попытка гармонизировать нормативно-правовые документы Беларуси со странами Евросоюза изменили концептуальные подходы к этой проблеме. В результате по шести основным загрязняющим компонентам в очищенных сточных водах допустимые их показатели и концентрации назначаются в зависимости от эквивалентного числа жителей в населенном пункте (табл. 1). Для проектируемых сооружений допустимые значения умножаются на коэффициент 0,85. Нормирование допустимых сбросов очищенных сточных вод с производственных предприятий регламентируется нормативно-правовыми документами [5, 7] и отражено в работе [11].

Для назначения ПДК принципиально изменилось деление поверхностных водных

объектов на категории. В отдельную категорию выделены объекты, используемые для размножения, нагула, зимовки, миграции рыб отрядов лососеобразных и осетрообразных, причем и для этой категории объектов нормируются только пять показателей качества воды [5]. Все остальные поверхностные водные объекты отнесены к категории «иных», куда вошли почти все водотоки рыбохозяйственного и культурно-бытового назначения. При такой действующей системе нормирования значения допустимых показателей и концентраций (табл. 1), назначаемые для шести загрязняющих веществ в очищенных сточных водах, превышают ПДК примерно в 10–20 раз. Поэтому очень актуальным является совершенствование существующей методики расчета в плане определения длины участка водотока L , в конце которого будет достигнута ПДК благодаря его ассимилирующей способности. В данной работе предпринята попытка найти аналитическое решение, которое позволило бы определить длину такого участка. Чтобы не нанести ущерб экологической системе реки, на участке длиной L не следует допускать еще один сброс сточных вод из очистных сооружений населенного пункта, расположенного в акватории этого участка с концентрацией загрязняющего вещества, превышающей ПДК. Ниже участка может быть разрешен очередной сброс очищенных сточных вод.

Таблица 1 – Допустимые значения показателей и концентраций загрязняющих веществ в составе хозяйственно-бытовых, городских сточных вод, удаляемых в процессе биологической очистки [5, 6]

| Эквивалент населения (масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения) | Значение показателей | | | Концентрация загрязняющих веществ | | |
|---|---|--|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| | хпк _{ср} , мгО ₂ /куб.дм | БПК ₅ , мгО ₂ /куб.дм | взвешанные вещества, мг/куб.дм | аммоний-ион, мгN/куб.дм | азот общий, мг/куб.дм | фосфор общий, мг/куб.дм |
| До 500 человек (до 30 кг/сут) | 125 | 25 | 30 | 25 | – | – |
| 501–2000 человек (от 30 до 120 кг/сут) | 120 | 25 | 25 | 20 | – | – |
| 2001–10 000 человек (от 120 до 600 кг/сут) | 100 | 20 | 25 | 15 | 25 | 4,5 |
| 10 001–100 000 человек (от 600 до 6000 кг/сут) | 80 | 20 | 20 | 15 | 20 | 3,0 |
| Более 100 001 человека (более 6000 кг/сут) | 70 | 15 | 20 | 10 | 20 | 2,0 |

При соответствующем обосновании и согласовании с природоохранными органами в отдельных случаях может быть разрешена концентрация загрязняющего вещества, превышающая ПДК, в конце расчетного участка.

В различные годы издан ряд документов Минприроды по нормированию сбросов сточных вод в поверхностные водные объекты: инструкции 2006 г. [1], 2008 г. [2] с изменениями и дополнениями 2009 г. [3], 2017 г. [4,5]; ТКП 2012 г. [6]; Постановление 2015 г. [7]; ЭкоНП 2017 г. [8], в которых излагается методика расчета допустимых сбросов в водные объекты загрязняющих веществ в составе сточных вод. Эти методики имеют те или иные различия в определении параметров, входящих в расчетные формулы. Так, для определения коэффициента смешения вначале вводился параметр L (длина участка смешения), который принимался 500 или 1000 м в зависимости от назначения водотока, а затем ограничились его значением $L = 500$ м. В инструкции 2008 г. [2] для определения коэффициента турбулентной диффузии рассчитывался коэффициент Шеши S и функция скоростного коэффициента M , а в действующих нормативных документах [6, 8] рекомендуется принимать в формуле (1) осредненное значение параметра $MC/g = 200$. Проведенный сравнительный анализ этих двух аспектов учета данного параметра показал, что он может в 1,1–1,5 раза отличаться от принятого постоянного значения в зависимости от гидравлического радиуса поперечного сечения водотока и его коэффициента шероховатости.

Сравнительный анализ ранее применяемых и действующих методик расчета допустимых концентраций

Сравнительные расчеты по обоснованию допустимых концентраций выполнены для очистных сооружений проектируемых (г. Полоцк) и функционирующих (г. Лунинец) по двум загрязняющим веществам: азоту аммонийному и фосфору общему. Расчеты для сооружений г. Полоцка выполнены по условиям сброса очищенных сточных вод в р. Западная Двина, а для сооружений г. Лунинца – в р. Припять через Лунинецкий канал. Расчет допустимой концентрации загрязняющего вещества в составе сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект, $C_{дс}$, мг/дм³,

Больше всего сомнительных нововведений отмечено в инструкции 2008 г. [2], где необоснованно введен коэффициент 0,8 к значению ПДК, имеется ошибка в расчетной формуле. Эти и другие неточности аргументированы в статье А. Н. Колобаева [10].

В инструкциях прежних лет очень строгие требования предъявлялись к допустимым показателям и концентрациям сточных вод, отводимых коммунально-бытовыми очистными сооружениями. При современных технологиях очистки такие требования практически недостижимы. Подход к определению допустимых концентраций сточных вод на выходе из очистных сооружений, исходя из ПДК рек рыбохозяйственного назначения, был подвергнут критике в публикациях Ю. П. Седлухо [9] и А. Н. Колобаева [10]. В действующих нормативных документах [4, 8] требования по шести нормируемым загрязняющим компонентам существенно смягчены (табл. 1), по остальным веществам допустимые концентрации, как и ранее, рассчитывают по формулам (1–5).

В существующей методике расчета не учтено влияние ассимилирующей способности водопроводящего канала, через который поступают очищенные сточные воды в естественный водный объект. В этих случаях следовало бы оценивать концентрацию сточных вод на выходе из канала перед сбросом в естественный водоток. Для учета влияния ассимилирующей способности водопроводящего канала на допустимые концентрации загрязняющих веществ предложены формулы (6, 6а).

с учетом его ассимилирующей способности, производят в следующем порядке.

1. Определяют коэффициент турбулентной диффузии D , м²/с, по формуле

$$D = \frac{gh\vartheta}{MC}, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²;

h – средняя глубина водотока в створе размещения выпуска сточных вод, м;

ϑ – средняя скорость течения воды в водотоке в створе размещения выпуска сточных вод, м/с;

M – функция скоростного коэффициента,
 $M = 0,7C + 6$;

C – коэффициент Шези, $m^{0,5}/c$, определяемый по формуле Н. Н. Павловского

$$C = \frac{1}{n_{ш}} R^y,$$

где $n_{ш}$ – коэффициент шероховатости русла водотока в контрольном створе;

R – гидравлический радиус поперечного сечения русла, м;

$$y = 1,3\sqrt{n} \text{ при } R > 1 \text{ м; } y = 1,5\sqrt{n} \text{ при } R < 1 \text{ м.}$$

2. Находят коэффициент, учитывающий гидравлические условия смешения:

$$k_{гy} = k_{изв} k_{вып} \sqrt[3]{\frac{D}{q}}, \quad (2)$$

где $k_{изв}$ – коэффициент извилистости русла, определяемый как отношение расстояния от створа размещения выпуска сточных вод до контрольного створа по фарватеру к расстоянию между ними по прямой;

$k_{вып}$ – коэффициент, зависящий от типа выпуска; $k_{вып} = 1,0$ – при береговом выпуске; $k_{вып} = 1,5$ – при русловом выпуске.

3. Определяют коэффициент смешения сточных вод с водой водотока $k_{см}$ по формуле И. Д. Родзиллера

$$k_{см} = \frac{1 - e^{-k_{гy} \sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{q} e^{-k_{гy} \sqrt[3]{L}}}, \quad (3)$$

где L – расстояние от створа размещения выпуска сточных вод до контрольного створа, м;

Q – расход воды в водотоке в створе размещения выпуска сточных вод, m^3/c . Принимается минимальный среднемесячный расход года 95 % обеспеченности [6];

q – расход сточных вод, сбрасываемых в водоток, m^3/c .

4. Определяют кратность разбавления сточных вод n :

$$n = 1 + k_{см} \frac{Q}{q}. \quad (4)$$

Расчет кратности разбавления сточных вод в воде водотока n применяется в случае соблюдения неравенства $10 \leq \frac{Q}{q} \leq 400$. Если

значение $\frac{Q}{q}$ составляет более 400, то n определяется при $Q = 400 q$. Если значение $\frac{Q}{q}$

составляет менее 10, расчет n не производится и допустимая концентрация устанавливается исходя из значений нормативов качества воды поверхностных водных объектов, за исключением загрязняющих веществ, для которых в нормативных правовых актах установлены Минприроды допустимые значения показателей и концентраций загрязняющих веществ в составе сточных вод [6, 8].

5. Рассчитывают допустимую концентрацию загрязняющего вещества $C_{дс}$, mg/dm^3 , по формуле

$$C_{дс} = (n - 1)(C_{пдк} - C_{ф}) + C_{пдк}, \quad (5)$$

где $C_{пдк}$ – предельно допустимая концентрация вещества в воде поверхностного водного объекта согласно установленным нормативам качества воды поверхностных водных объектов, mg/dm^3 ;

$C_{ф}$ – концентрация вещества в фоновом створе, mg/dm^3 .

При значении концентрации вещества в фоновом створе $C_{ф}$ больше, чем его предельно допустимая концентрация в воде поверхностного водного объекта $C_{пдк}$ расчет по формуле (5) не производится, и допустимая концентрация загрязняющего вещества $C_{дс}$ принимается равной концентрации вещества в фоновом створе $C_{ф}$ [8].

Допустимая концентрация азота аммонийного в сточных водах, сбрасываемых с очистных сооружений г. Полоцка в р. Западная Двина, принималась на уровне фоновой $C_{дс} = 0,64 \text{ } mg/dm^3$, т. к. его фоновая концентрация $C_{ф} = 0,64 \text{ } mg/dm^3 > C_{пдк} = 0,39 \text{ } mg/dm^3$. Допустимая концентрация фосфора в сточных водах, исходя из требований к р. Западная Двина, для которой $C_{пдк} = 0,2 \text{ } mg/dm^3$, фоновая концентрация $C_{ф} = 0,054 \text{ } mg/dm^3$ определялась по формуле (5).

В расчетах для очистных сооружений г. Лунинца учитывался тот фактор, что сточные воды после очистки сбрасываются в р. Припять через Луинецкий канал. Поэтому расчет допустимой концентрации $C_{дс}$ загрязняющих веществ выполнен с учетом ассимилирующей способности Луинецкого канала и р. Припять. Луинецкий канал относится к категории культурно-бытовых водотоков, а р. Припять, в которую поступают воды канала, смешанные

с очищенными сточными водами, является водотоком рыбохозяйственного водопользования. ПДК азота аммонийного для р. Припять $C_{\text{ПДК}} = 0,39 \text{ мг/дм}^3$, для канала $C_{\text{ПДК}} = 2 \text{ мг/дм}^3$. ПДК фосфора для реки $C_{\text{ПДК}} = 0,2 \text{ мг/дм}^3$, для канала $C_{\text{ПДК}} = 1,2 \text{ мг/дм}^3$. Фоновая концентрация азота аммонийного в контрольном створе р. Припять $C_{\phi} = 0,14 \text{ мг/дм}^3$, а в канале $C_{\phi} = 0,4 \text{ мг/дм}^3$. Фоновая концентрация фосфора в контрольном створе реки $C_{\phi} = 0,15 \text{ мг/дм}^3$, в канале $C_{\phi} = 0,3 \text{ мг/дм}^3$.

Для определения концентрации загрязняющих веществ на выходе из промежуточного водотока предложена формула

$$C_k = \frac{C_{\text{ст}} + (n-1)C_{\phi}}{n}, \quad (6)$$

где $C_{\text{ст}}$ – концентрация загрязняющего вещества в сточных водах на выходе из очистных сооружений. Соответственно, допустимая концентрация веществ на выходе из очистных сооружений при рассчитанной допустимой концентрации на выходе из канала $C_{\text{дк}}$ будет:

$$C_{\text{дс}} = nC_{\text{дк}} - (n - 1)C_{\phi}. \quad (6a)$$

Эта формула позволяет вести расчет допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах при условии сброса вод в системы, состоящие из водотоков различного назначения.

В расчетах допустимых концентраций сточных вод из условия их отведения в р. Припять учитывался суммарный расход воды на выходе из канала $q = 0,7 + 0,06 = 0,76 \text{ м}^3/\text{с}$ и фактическая концентрация в ней загрязняющих веществ.

Допустимая концентрация азота аммонийного и фосфора в воде на выходе из канала $C_{\text{дк}}$, исходя из требований к реке рыбохозяйственного назначения, определялась по формуле (5).

Исходные данные для расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах приведены в табл. 2, а результаты расчета – в табл. 3.

Сравнительный анализ выполненных расчетов по ранее применяемой методике и по действующим нормативным документам (см. табл. 1) показал, что значение допустимой концентрации азота аммонийного по действующей методике при смешении сточных вод с р. Западная Двина в 20 раз больше, чем расчетное значение по прежней методике. Значение допустимой концентрации фосфора общего соответственно больше в 1,5 раза. При смешении сточных вод с р. Припять значения $C_{\text{дс}}$ для азота аммонийного по новой методике в 11,7 раза больше, чем по прежней, а с учетом ассимилирующей способности канала – только в 1,3 раза. По фосфору без учета ассимилирующей способности канала $C_{\text{дс}}$ по новой методике в 7,3 раза больше, а с учетом его ассимилирующей способности – только в 1,8 раза. Оба эти значения, принятые по новой методике, значительно превышают ПДК для естественных водотоков по обоим ингредиентам (по азоту аммонийному – в 38 раз, по фосфору общему – в 15 раз). В соответствии с нормативным документом ПДК для указанных загрязнителей составляют соответственно по азоту аммонийному $0,39 \text{ мг/дм}^3$, по фосфору общему – $0,2 \text{ мг/дм}^3$.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета допустимых концентраций

| № п/п | Исходные параметры | г. Полоцк, р. Западная Двина | г. Лунинец, Лунинецкий канал | г. Лунинец, р. Припять |
|-------|--|------------------------------|------------------------------|------------------------|
| 1 | Длина L , км | 0,5 | 11,2 | 0,5 |
| 2 | Средняя скорость течения воды, м/с | 0,81 | 0,23 | 0,4 |
| 3 | Средняя глубина воды h , м | 2,3 | 0,7 | 1,5 |
| 4 | Гидравлический радиус R , м | 2,0 | 0,5 | 1,5 |
| 5 | Расчетный расход воды Q , м ³ /с | 50,2 | 0,7 | 28,1 |
| 6 | Коэффициент шероховатости $n_{\text{ш}}$ | 0,025 | 0,026 | 0,025 |
| 7 | Коэффициент Шези C , м ^{0,5} /с | 46,12 | 32,6 | 43,4 |
| 8 | Коэффициент извилистости $k_{\text{изв}}$ | 1,15 | 1,0 | 1,2 |
| 9 | Функция скоростного коэффициента M , м ^{0,5} /с | 38,28 | 28,8 | 36,4 |
| 10 | Средний расход сточных вод q , м ³ /с | 0,463 | 0,06 | 0,76 |

Таблица 3 – Результаты расчета допустимых концентраций

| № п/п | Расчетные параметры | г. Полоцк, р. Западная Двина | | г. Лунинец, Лунинецкий канал | | г. Лунинец, р. Припять | |
|-------|---|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
| | | азот аммонийный | фосфор общий | азот аммонийный | фосфор общий | азот аммонийный | фосфор общий |
| 1 | Коэффициент турбулентной диффузии D, м ² /с | 0,01 | | 0,00168 | | 0,00373 | |
| 2 | Коэффициент, учитывающий гидравлические условия смешения, k _{гв} | 0,32 | | 0,304 | | 0,204 | |
| 3 | Коэффициент смешения k _{см} | 0,0964 | | 0,986 | | 0,096 | |
| 4 | Кратность разбавления сточных вод n | 11,45 | | 12,5 | | 4,55 | |
| 5 | Допустимая концентрация C _{дс} , мг/дм ³ | 0,64 | 1,73 | 20,4 | 11,6 | 11,4* 1,28** | 1,68* 0,38** |

Примечание. * – допустимая концентрация на выходе из очистных сооружений; ** – допустимая концентрация на выходе из канала.

Методика определения длины участка водотока для снижения концентраций до уровня ПДК

Учитывая, что $(n - 1) = k_{см} \frac{Q}{q}$, запишем уравнение (5) в следующем виде:

$$C_{дс} = k_{см} \frac{Q}{q} (C_{пдк} - C_{ф}) + C_{пдк}, \quad (7)$$

где

$$k_{см} = \frac{1 - e^{-k_{гв} \sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{q} e^{-k_{гв} \sqrt[3]{L}}}. \quad (8)$$

Разницу между допустимой концентрацией загрязняющих веществ в сточных водах на выходе из очистных сооружений C_{дс} и ПДК, которую необходимо компенсировать за счет ассимилирующей способности водотока, можно определить по уравнению

$$C_{дс} - C_{пдк} = k_{см} \frac{Q}{q} C_{пдк} - k_{см} \frac{Q}{q} C_{ф}, \quad (9)$$

откуда
$$C_{пдк} = \frac{C_{дс} + k_{см} \frac{Q}{q} C_{ф}}{1 + k_{см} \frac{Q}{q}}. \quad (10)$$

Представим уравнение (10) в следующем виде:

$$C_{пдк} + k_{см} \frac{Q}{q} C_{пдк} - C_{дс} - k_{см} \frac{Q}{q} C_{ф} = 0, \quad (11)$$

или

$$(C_{пдк} - C_{ф}) k_{см} \frac{Q}{q} = C_{дс} - C_{пдк}, \quad (12)$$

откуда

$$k_{см} = \frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} \cdot \frac{q}{Q} = \frac{1 - e^{-k_{гв} \sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{q} e^{-k_{гв} \sqrt[3]{L}}}. \quad (13)$$

Приведем уравнение (13) к следующему виду:

$$\frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} \cdot \frac{q}{Q} + \frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} \cdot \frac{q}{Q} \cdot \frac{Q}{q} e^{-k_{гв} \sqrt[3]{L}} - 1 + e^{-k_{гв} \sqrt[3]{L}} = 0, \quad (14)$$

которое можно записать в виде равенства

$$\left(\frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} + 1 \right) \cdot e^{-k_{гв} \sqrt[3]{L}} = 1 - \frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} \cdot \frac{q}{Q}. \quad (15)$$

Прологарифмировав выражение (15), получим уравнение

$$\ln \left(\frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} + 1 \right) - k_{гв} \sqrt[3]{L} \ln e = \ln \left(1 - \frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} \cdot \frac{q}{Q} \right), \quad (16)$$

из которого, после преобразования, получим расчетную формулу для определения значения длины L (м) участка водотока:

$$L = \left[\frac{\ln \left(\frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} + 1 \right) - \ln \left(1 - \frac{C_{дс} - C_{пдк}}{C_{пдк} - C_{ф}} \cdot \frac{q}{Q} \right)}{k_{гв}} \right]^3. \quad (17)$$

Для конкретных видов загрязнителей при заданных значениях C_{дс} и C_{пдк}, принимаемых по действующей методике, это уравнение может быть представлено в упрощенном виде. Рассмотрим наиболее характерные загрязняющие вещества, сбрасываемые в водотоки из очистных сооружений городов с эквивалентным числом жителей 10 001–100 000.

Азот общий. Допустимая концентрация в очищенных сточных водах $C_{дс} = 20 \text{ мг/дм}^3$, а предельно допустимая концентрация этого вещества составляет $C_{пдк} = 5 \text{ мг/дм}^3$. Длина L при известных значениях фоновой концентрации C_{ϕ} может быть выражена следующими простыми формулами:

$$\text{при } C_{\phi} = 0,2C_{пдк} \quad L = \left[\frac{1,56 - \ln\left(1 - 3,75 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3; \quad (18)$$

$$C_{\phi} = 0,4C_{пдк} \quad L = \left[\frac{1,79 - \ln\left(1 - 5 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3; \quad (19)$$

$$C_{\phi} = 0,6C_{пдк} \quad L = \left[\frac{2,14 - \ln\left(1 - 7,5 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3. \quad (20)$$

Фосфор общий.

$C_{дс} = 3 \text{ мг/дм}^3$; $C_{пдк} = 0,2 \text{ мг/дм}^3$.

$$C_{\phi} = 0,2C_{пдк} \quad L = \left[\frac{2,92 - \ln\left(1 - 17,5 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3; \quad (21)$$

$$C_{\phi} = 0,4C_{пдк} \quad L = \left[\frac{3,19 - \ln\left(1 - 23,3 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3; \quad (22)$$

$$C_{\phi} = 0,6C_{пдк} \quad L = \left[\frac{3,58 - \ln\left(1 - 35 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3. \quad (23)$$

Выводы

1. Значения допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах на выходе из очистных сооружений, приведенные в табл. 1 с учетом наилучших доступных технологий и дифференцированные по эквивалентной численности населения, значительно превышают значения, получаемые по расчетным формулам, и в среднем в 10–20 раз выше ПДК.

2. В тех случаях, когда очищенные сточные воды отводятся в естественный водоток через водопроводящий канал, следует учитывать его ассимилирующую способность. Это позволяет увеличить значения допустимых концентраций

Аммоний-ион.

$C_{дс} = 15 \text{ мг/дм}^3$; $C_{пдк} = 0,39 \text{ мг/дм}^3$.

$$C_{\phi} = 0,2C_{пдк} \quad L = \left[\frac{3,87 - \ln\left(1 - 46,83 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3; \quad (24)$$

$$C_{\phi} = 0,4C_{пдк} \quad L = \left[\frac{4,15 - \ln\left(1 - 62,43 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3; \quad (25)$$

$$C_{\phi} = 0,6C_{пдк} \quad L = \left[\frac{4,55 - \ln\left(1 - 93,65 \frac{q}{Q}\right)}{k_{гy}} \right]^3. \quad (26)$$

Для наглядного представления влияния соотношения Q/q и коэффициента гидравлических условий $k_{гy}$ на длину L нами составлены графики для двух загрязняющих веществ (аммоний-иона и фосфора общего), допустимые концентрации которых нормируются по эквивалентному числу жителей в пределах 10 001–100 000 чел. при значении фоновой концентрации $C_{\phi} = 0,4C_{пдк}$ и значениях $k_{гy} = 0,2; 0,3; 0,4$ (рисунок).

Расчеты, выполненные по приведенным выше формулам, и представленные графики показывают, что на ассимилирующую способность водного потока и, следовательно, длину участка водотока L , на котором назначаемые допускаемые концентрации снижаются до уровня ПДК, большое влияние оказывает соотношение расходов воды в реке и сбрасываемых очищенных сточных вод, а также коэффициент гидравлических условий, причем более строгие требования к длине участка предъявляются для вещества аммоний-ион.

загрязняющих веществ в очищенных сточных водах, сбрасываемых из очистных сооружений. Концентрацию загрязняющих веществ на выходе из канала рекомендуется определять по предложенной нами формуле (б), а допустимую концентрацию на выходе из очистных сооружений – по (ба).

3. Для повышения точности значения коэффициента $k_{гy}$, учитывающего гидравлические условия смешения сточных вод с водой водотока, следовало бы ввести в расчетную формулу (1) для определения коэффициента турбулентной диффузии по действующей методике

произведение скоростного коэффициента и его функции, а не принимать его осредненное значение, т. к. это произведение может в 1,1–1,5 раза отличаться от принятого постоянного значения в зависимости от гидравлического радиуса поперечного сечения водотока и его коэффициента шероховатости.

4. Расчет длины участка водотока, на котором допустимая концентрация загрязняющих

веществ в очищенных сточных водах снижается до значений ПДК, можно производить по разработанной нами формуле (17), а для частных случаев – по формулам (18–26). На этой длине нельзя допускать еще один сброс сточных вод с очистных сооружений населенного пункта, находящегося в акватории этого участка, во избежание высокой антропогенной нагрузки на поверхностный водный объект.

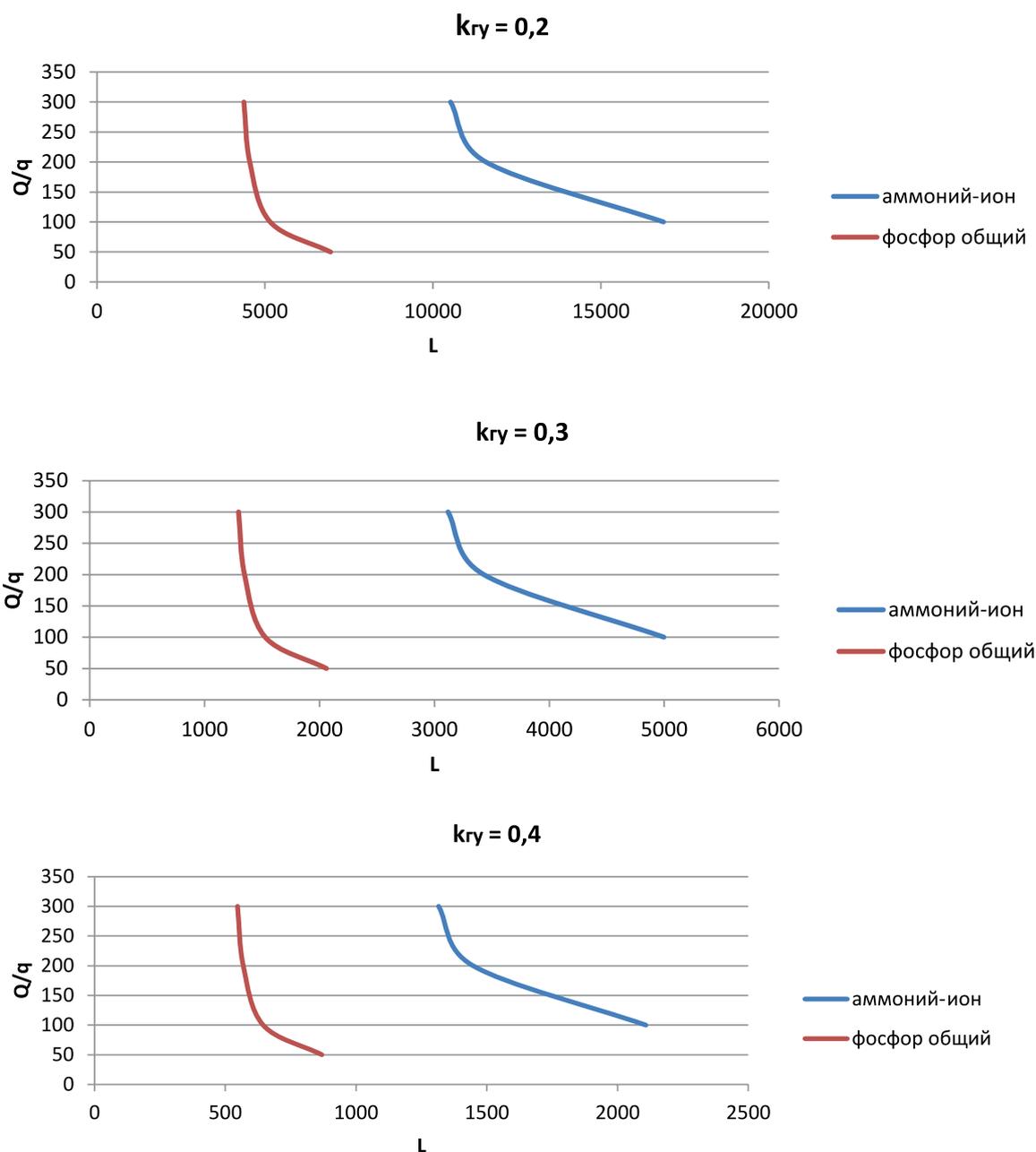


Рисунок – Зависимость длины участка водотока L от соотношения расходов Q/q и коэффициента гидравлических условий k_{ry} для загрязнителей: аммоний-иона и фосфора общего

Библиографический список

1. Инструкция по нормированию сброса сточных вод в поверхностные водные объекты : утв. М-вом природы Респ. Беларусь 20.01.2006. – Минск : Минприроды, 2006. – 6 с.
2. Инструкция о порядке установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в водные объекты : утв. М-вом природы Респ. Беларусь 29.04.2008. – Минск : Минприроды, 2008. – 25 с.
3. Об изменениях и дополнениях Инструкции о порядке установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в водные объекты : постановление М-ва природы Респ. Беларусь, 29.12.2009, № 2
4. Инструкция о порядке установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : утв. М-вом природы Респ. Беларусь 26.06.2017 № 16. – Минск : Минприроды, 2017. – 13 с.
5. О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление М-ва природы Респ. Беларусь, 26.05.2017, № 16. – 19 с.
6. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : ТКП 17.06-08.2012 (02120). – Минск: Минприроды, 2012. – 69 с.
7. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов : постановление М-ва природы Респ. Беларусь 30.03.2015, № 13. – 17 с.
8. Экологические нормы и правила : ЭкоНиП 17.01.06-001-2017. – Минск : Минприроды, 2017. – Раздел 7. – С. 25-30.
9. Седлухо, Ю. П. Проблемы очистки сточных вод и нормирования их сброса в городскую канализацию и водные объекты / Ю. П. Седлухо // Вода. – 2010. – № 4 (155). – С. 16-19.
10. Колобаев, А. Н. Совершенствование нормативов, регламентирующих отведение сточных вод в поверхностные водные объекты / А. Н. Колобаев // Природные ресурсы. – 2013. – № 1. – С. 51-55.
11. Дубенок, С. А. Расчет нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ со сточными водами в водные объекты / С. А. Дубенок. – Минск: БНТУ, 2017. – 37 с.

Поступила 25.07.2019

• ОБМЕН ОПЫТОМ •

СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ И ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ КАСКАДА НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ КАРШИНСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА*

Ш. Х. Рахимов¹, доктор технических наук, профессор

А. Ж. Сейтов¹, PhD, старший научный сотрудник

М. Р. Шербаев¹, младший научный сотрудник

Д. Жумамурадов², младший научный сотрудник

Ф. Ж. Дусиёров¹, младший научный сотрудник

¹Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем,
г. Ташкент, Узбекистан

²Нукусский филиал Навоинского государственного горного института,
г. Нукус, Узбекистан

Аннотация

Разработаны структура базы данных и программные модули для моделирования неустановившегося движения воды на участках Каршинского магистрального канала, а также водоподачи каскада насосных станций, оснащенных осевыми поворотно-лопастными насосными агрегатами. Приведены результаты моделирования неустановившегося движения воды в изометрии в плоскости (x, t) на участках 1 и 2 изменения расхода и уровня воды Каршинского магистрального канала, а также суточных эксплуатационных режимов работы насосной станции 1 каскада Каршинского магистрального канала.

Ключевые слова: структура базы данных, программные модули, моделирование, управление, водные ресурсы, каскад насосных станций, неустановившееся движение воды, участки канала.

Annotation

**Sh. Rakhimov, A. Seytov, M. Sherbaev,
D. Zhumamuradov, F. Dusiyorov**

A DATABASE STRUCTURE AND SOFTWARE MODULES FOR MODELING OF WATER RESOURCES MANAGEMENT OF THE CASCADE OF PUMPING STATIONS OF THE KARSHI MAIN CANAL

A database structure and software modules have been developed for modeling unsteady water movement in sections of the Karshi main canal, as well as water supply to the cascade of pumping stations equipped with axial rotary-vane pump units. The results of modeling unsteady water movement in the isometry in the (x, t) plane in sections 1 and 2 of the change in the flow rate and water level of the Karshi main canal, as well as daily operating modes of the pumping station 1 of the Karshi main canal cascade are presented.

Keywords: database structure, program modules, modeling, management, water resources, cascade of pumping stations, transient water movement, channel sections.

Введение

В работах [1, 2, 3] были разработаны алгоритмы решения задач моделирования управления водными ресурсами водохозяйственных систем и объектов. Для получения результатов моделирования управления

водными ресурсами необходимо иметь структуру базы данных и программные модули решения задач моделирования управления водными ресурсами водохозяйственных систем и объектов.

*В рамках двустороннего сотрудничества между НАН Беларуси и Министерством инновационного развития Республики Узбекистан.

Статья публикуется в авторской редакции.

Структура базы данных и программные модули для моделирования неустановившегося движения воды на участках магистрального канала

Для моделирования неустановившегося движения воды на участках Каршинского магистрального канала необходима следующая информация:

- характеристики участка, т. е. номер, наименование, наименование начальных и конечных створов;
- гидравлические элементы: ширина участка по дну, коэффициент откоса, уклон дна, коэффициент шероховатости и длина участка;
- характеристики потерь: формула расчета потерь и его параметры;
- параметры расчетной конечно-разностной схемы: шаги по длине и по времени;
- боковые водозаборы: расположение их по длине;
- начальные распределения уровня и расхода воды на участке канала по длине;
- характеристики граничных условий, режимы граничных условий;
- распределение расхода, уровня и отметки свободной поверхности воды на участке канала для каждого момента времени.

Для хранения этих параметров разработаны перечень таблиц базы данных и их структура, которые приведены в табл. 1.

Для удобства работы ввода данных по участкам канала в таблицах базы данных разработаны их формы.

Формы являются типом объектов, которые обычно используются для отображения информации в базе данных. Форму можно также использовать как графическую кнопку на экране, открывающую другие формы или отчеты базы данных, а также как пользовательское диалоговое окно для ввода данных и выполнения действий, определяемых введенной информацией. Большинство форм являются присоединенными к одной или нескольким таблицам и запросам из базы данных. Источниками записей в формах являются поля в базовых таблицах и запросах. Форма не должна включать все поля из каждой таблицы или запроса, на основе которых она создается.

Присоединенная форма получает данные из базового источника записей. Другие выводимые в форме сведения, такие как заголовок, дата и номера страниц, сохраняются в макете формы.

Таблица 1 – Перечень таблиц базы данных и их структуры

| № п/п | Название | Назначение |
|----------------|----------------------------|--|
| <i>Таблицы</i> | | |
| 1 | <i>Участки канала</i> | Наименование и основные характеристики участка канала |
| 2 | <i>ГидПарУчКанала</i> | Гидравлические параметры участка канала |
| 3 | <i>НачУслУчКанала</i> | Начальные условия участка канала |
| 4 | <i>ШагиМоделирования</i> | Временные и пространственные шаги моделирования |
| 5 | <i>ХаракПотерь</i> | Параметры расчета потерь воды на участке |
| 6 | <i>БокВодозаборы</i> | Месторасположение боковых водозаборов |
| 7 | <i>ЛевоеГрУсловия</i> | Параметры левых граничных условий |
| 8 | <i>ПравоеГрУсловия</i> | Параметры правых граничных условий |
| 9 | <i>ИзмПарЛевГрУсловия</i> | Изменяемые параметры левых граничных условий во времени |
| 10 | <i>ИзмПарПравГрУсловия</i> | Изменяемые параметры правых граничных условий во времени |
| 11 | <i>РаспРасх</i> | Распределение расхода воды по длине участка канала в каждый момент времени |
| 12 | <i>РаспУровня</i> | Распределение уровня воды по длине участка канала в каждый момент времени |
| 13 | <i>РаспОтметки</i> | Распределение отметки свободной поверхности воды по длине участка канала в каждый момент времени |

Связь между формой и ее источником записей создается при помощи графических объектов, которые называют элементами управления. Наиболее часто используемым для вывода и ввода данных типом элемента управления является поле. Формы можно также открывать в режимах сводной таблицы или диаграммы для анализа данных. В этих режимах пользователи могут динамически менять макет формы для изменения способа представления данных. Существует возможность упорядочивать заголовки строк и столбцов, а также применять фильтры к полям. При каждом изменении макета сводная форма немедленно выполняет вычисления заново в соответствии с новым расположением данных.

Подчиненной называют форму, вставленную в другую форму. Первичная форма называется главной. Комбинацию «форма / подчиненная форма» часто называют также иерархической формой, или комбинацией «родительской» и «дочерней» форм.

Подчиненные формы особенно удобны для вывода данных из таблиц или запросов, связанных отношением «один – ко многим». Главная и подчиненная в этом типе форм связаны таким образом, что в подчиненной

выводятся только те записи, которые связаны с текущей записью в главной форме. Например, на рис. 1 приведена главная форма «Модели участков канала» на верху, которая отображает параметры участков Каршинского магистрального канала. Ее подчиненная форма «Гидравлические параметры участка» отображает гидравлические параметры участков канала; подчиненная форма «Начальные условия» отображает параметры начального распределения уровня и расхода воды по длине, а подчиненная форма «Управляемые параметры» отображает изменения расхода воды на границах участков канала. При создании главной и подчиненной форм, основанных на таблицах, связанных отношением «один – ко многим», главная форма представляет сторону «один» отношения, а подчиненная форма представляет сторону «многие». Главная форма синхронизируется с подчиненной таким образом, что в подчиненной форме выводятся только записи, связанные с записью в главной форме. Форма для моделирования участков Каршинского магистрального канала приведена на рис. 1.

База данных и программные модули для участков канала приведены в табл. 2.

Рисунок 1 – Форма для моделирования участков Каршинского магистрального канала

Таблица 2 – База данных и программные модули для участков канала

| № п/п | Название | Назначение |
|--------------|-------------------------------|---|
| <i>Формы</i> | | |
| 1 | <i>Модели участков канала</i> | Наименование и основные характеристики участка канала |
| 2 | <i>ГидравПараметры</i> | Гидравлические параметры участка канала |
| 3 | <i>ХаракПотерь</i> | Параметры расчета потерь воды на участке |
| 4 | <i>БокВодозаборы</i> | Месторасположение боковых водозаборов |
| 5 | <i>НачРаспределение</i> | Начальное распределение уровня и расхода воды |

База данных и программные модули для участков канала решают задачу моделирования режимов работы участков канала и ввод данных в базу справочных и фактических характеристик участков канала. В группах таблиц участки канала; *ГидПарУчКанала*; *НачУслУчКанала*; *ШагиМоделирования*; *ЛевоеГрУсловия*; *ПравоеГрУсловия*; *ХаракПотерь*; *БокВодозаборы*; *ИзмПарЛевГрУсловия*, *ФАКПарУчКан* и *RESРасУчКан* содержатся все входные информации для расчета режимов работы участков канала. Программные модули *ModУчКан*, *РасКоефГрУс*, *РасПрогКоефУчКан*

и *РасРасхУровУчКан* предназначены для моделирования режимов работы участков канала, расчета коэффициентов граничных условий, расчета прогоночных коэффициентов и расчета расходов и уровней участков канала. Структура базы данных и программных модулей для моделирования участков каналов приведены на рис. 2.

На рис. 3 и 4 приведены результаты моделирования неустановившегося движения воды в изометрии плоскости (x, t) на участках 1 и 2 изменения расхода и уровня воды Каршинского магистрального канала.

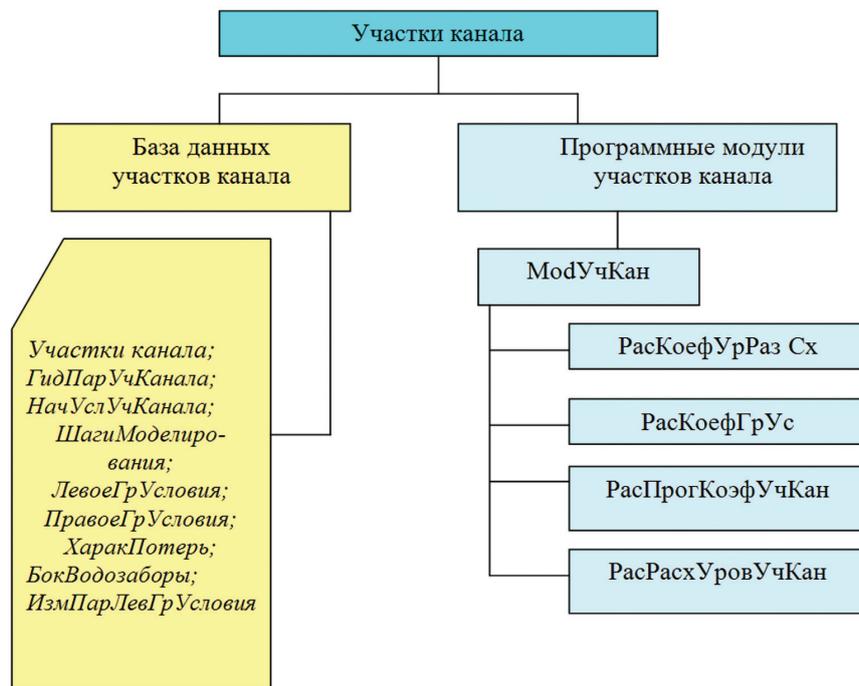


Рисунок 2 – Структура базы данных и программных модулей для моделирования участков каналов

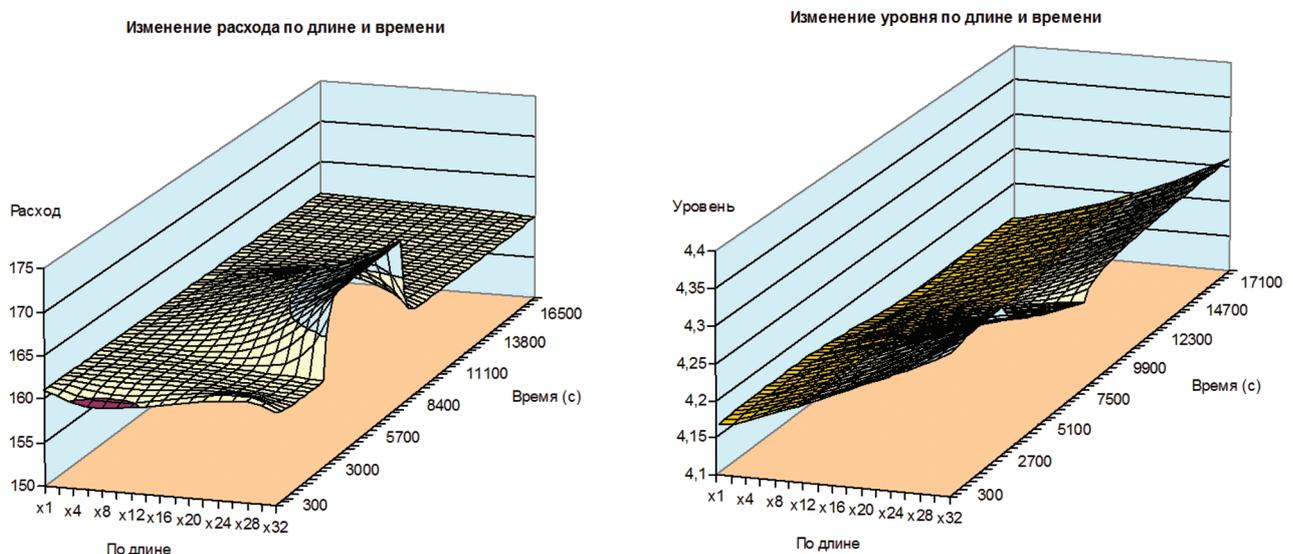


Рисунок 3 – Моделирование режимов работы участка 1 Каршинского магистрального канала

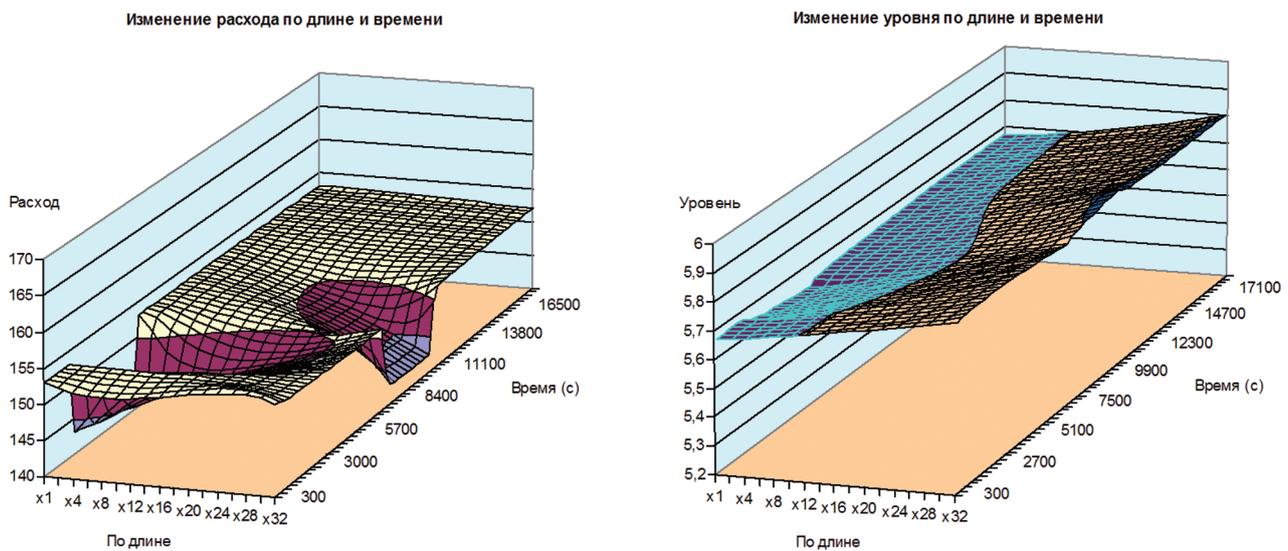


Рисунок 4 – Моделирование режимов работы участка 2 Каршинского магистрального канала

Структура базы данных и программные модули для моделирования процесса водоподачи каскада насосных станций, оснащенных осевыми поворотно-лопастными насосными агрегатами

Моделирование режимов процесса водоподачи насосных станций, оснащенных осевыми поворотно-лопастными насосными агрегатами основывается на следующей информации:

- номера насосных станций и типов их агрегатов;
- расходные характеристики насосных агрегатов;
- энергетические характеристики насосных агрегатов;
- характеристики трубопроводов;
- уровни воды в верхних и нижних бьефах насосных станций.

Для хранения этих параметров разработаны перечень таблицы базы данных и их структуры, которые приведены в табл. 3.

База данных и программные модули для насосных станций решают задачу моделирования режимов работы насосных станций, ввод

данных в базу справочных и фактических характеристик насосных агрегатов.

В группах таблиц *НомНС_НА*; *РасХарНА*; *ЭнерХарНА*; *Характеристики трубопроводов*, *УрВБ_НБ* содержатся все входные информации для расчета режимов работы насосных станций.

Программные модули *ModНС*, *ModНА*, *РасОВЛНА*, *РасРасхНА* *РасЭНЭнерНСНА* предназначены для моделирования режимов работы насосных станций, расчета коэффициентов граничных условий и расчета прогоночных коэффициентов. Структура базы данных и программных модулей для моделирования водоподачи насосных станций приведены на рис. 5.

На основе разработанных программных модулей моделирования насосных станций приведены результаты моделирования суточных эксплуатационных режимов работы насосных станций Каршинского магистрального канала (табл. 4).

Таблица 3 – Перечень таблицы базы данных и их структуры

| № п/п | Название | Назначение |
|----------------|-------------------------------------|--|
| <i>Таблицы</i> | | |
| 1 | <i>НомНС_НА</i> | Номера насосных станций и типов их агрегатов |
| 2 | <i>РасХарНА</i> | Расходные характеристики насосных агрегатов |
| 3 | <i>ЭнерХарНА</i> | Энергетические характеристики насосных агрегатов |
| 4 | <i>Характеристики трубопроводов</i> | Характеристики трубопроводов |
| 5 | <i>УрВБ_НБ</i> | Уровни воды верхних и нижних бьефов |

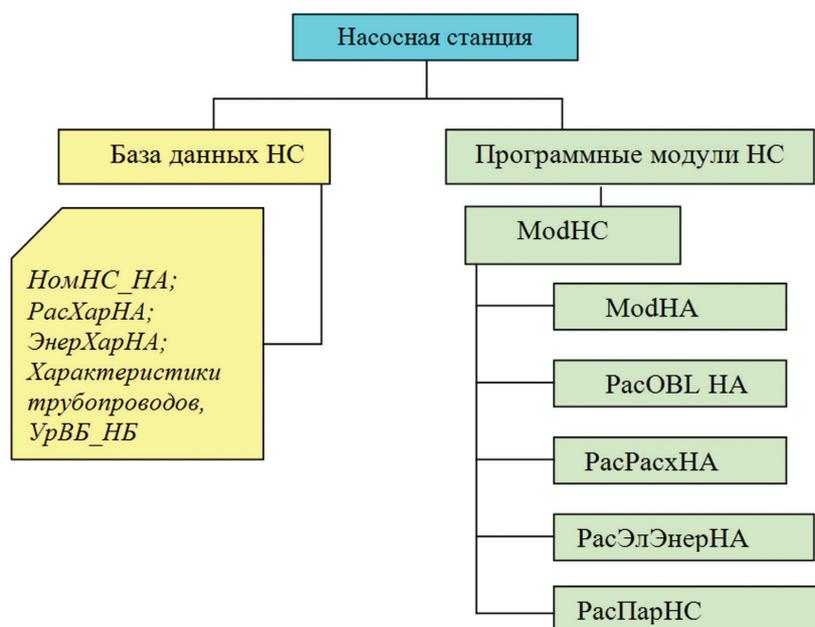


Рисунок 5 – Структура базы данных и программных модулей для моделирования водопдачи насосных станций

Таблица 4 – Результаты моделирования суточных эксплуатационных режимов работы насосных станций Каршинского магистрального канала

| Параметры насосных станций | Размерность | 00:00 | 06:00 | 12:00 | 16:00 |
|----------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| НС-1 | | | | | |
| Уровень НБ | м | 6,60 | 6,40 | 6,60 | 6,60 |
| Уровень ВБ | м | 24,60 | 24,20 | 24,60 | 24,60 |
| НА-1 | | | | | |
| Угол разв.л | Градус | – | –2 | –2 | –2 |
| Расход воды | м.куб/с | – | 42,60 | 42,60 | 42,60 |
| Мощность | МВт | – | 10,79 | 10,85 | 10,85 |
| НА-2 | | | | | |
| Угол разв.л | Градус | –4 | – | – | – |
| Расход воды | м.куб/с | 38,90 | – | – | – |
| Мощность | МВт | 10,11 | – | – | – |
| НА-3 | | | | | |
| Угол разв.л | Градус | – | – | – | – |
| Расход воды | м.куб/с | – | – | – | – |
| Мощность | МВт | – | – | – | – |
| НА-4 | | | | | |
| Угол разв.л | Градус | –8 | –2 | –2 | –2 |
| Расход воды | м.куб/с | 32,50 | 42,60 | 42,60 | 42,60 |
| Мощность | МВт | 7,86 | 10,79 | 10,85 | 10,85 |
| НА-5 | | | | | |
| Угол разв.л | Градус | –8 | 0 | – | – |
| Расход воды | м.куб/с | 32,50 | 45,10 | – | – |
| Мощность | МВт | 7,86 | 11,17 | – | – |
| НА-6 | | | | | |
| Угол разв.л | Градус | –4 | –4 | 0 | 0 |
| Расход воды | м.куб/с | 38,90 | 38,90 | 45,10 | 45,10 |
| Мощность | МВт | 10,11 | 10,06 | 11,23 | 11,23 |
| Расход воды НС | м.куб/с | 142,80 | 169,20 | 130,30 | 130,30 |
| Мощность НС | МВт | 35,95 | 42,81 | 32,92 | 32,92 |

Заключение

Разработаны структура базы данных и программные модули для моделирования управления водными ресурсами каскада насосных станций Каршинского магистрального канала. Промоделированы неустановившееся движение воды в изометрии (x, t) на участках 1 и 2 изменения расхода и уровня воды канала, а также суточные эксплуатационные режимы работы насосной станции 1 каскада насосных

станций Каршинского магистрального канала. Результаты разработки внедрены в Управление по эксплуатации Каршинского магистрального канала, дают возможность, при оптимальном управлении водораспределения в каналах ирригационных систем, за счет уменьшения потерь водных ресурсов на 7–10 %, дают возможность уменьшить расходов электроэнергии на 3–5 %.

Библиографический список

1. Рахимов, Ш. Х. Алгоритмы оптимального управления распределением воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподдачи потребителям / Ш. Х. Рахимов, Х. Ш. Гаффаров, А. Ж. Сейтов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2016. – № 6. – С. 6-10.
2. Рахимов, Ш. Х. Управление системами машинного водоподъема / Ш. Х. Рахимов. – Ташкент : Фан, 1986. – 137 с.
3. Абуталиев, Ф. Б. Оптимальное управление системами машинного водоподъема / Ф. Б. Абуталиев, Ш. Х. Рахимов, И. Бегимов. – Ташкент : Фан, 1992. – 151 с.

Поступила 30.08.2019

• НАШИ ЮБИЛЯРЫ •



**Раиса Тадеушевна
ПАСТУШОК**
(к 50-летию со дня рождения)

11 сентября 2019 г. исполнилось 50 лет исполняющего обязанности заведующего лабораторией, ведущему научному сотруднику, кандидату сельскохозяйственных наук Раисе Тадеушевне Пастушок.

Она родилась в г. Иваново Брестской области. В 1992 г. окончила географический факультет Белорусского государственного университета.

После окончания аспирантуры БелНИИПА была распределена на работу в БелНИИ мелиорации и луговодства. С 1999 г. работает в Институте мелиорации, последовательно занимая должности младшего, научного, старшего научного сотрудника.

В лаборатории сенокосов и пастбищ на мелиорированных землях занималась разработкой эффективной системы производства травяных кормов, созданием и эксплуатацией долговечных высокопродуктивных сенокосов и пастбищ.

В 2016 г. защитила кандидатскую диссертацию по теме «Способы повышения продуктивности старовозрастных луговых травостоев на мелиорированных почвах Поозерья». Является одним из авторов «Технологического регламента омоложения луговых травостоев подсевом бобовых и злаковых трав в дернину». Разработка внедрена в сельскохозяйственное производство Республики Беларусь.

Р. Т. Пастушок – член Ученого совета Института мелиорации. Раиса Тадеушевна ведет работу по подготовке научных кадров высшей квалификации, осуществляет научное руководство соискателем. Является наставником молодежи: в руководимой ею лабораторией два молодых специалиста имеют степень магистра биологических и химических наук и обучаются в аспирантуре РУП «Институт мелиорации». Входит в состав государственной аттестационной комиссии в республиканском научном дочернем унитарном предприятии «Институт мелиорации» по специальностям 06.01.06 – Луговодство, кормопроизводство. Лекарственные и эфирно-масличные культуры, 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель (сельскохозяйственной отрасли науки).

Сердечно поздравляем юбиляра со знаменательной датой и желаем, чтобы работа приносила желаемые плоды, а жизнь была полна положительных эмоций, радости и любви. Успехов и удач!

Редакция

• ЧТОБЫ ПОМНИЛИ •



Николай Александрович ТЮЛЕНЕВ – выдающийся исследователь в области культуры болот (к 130-летию со дня рождения)

Тюленев Николай Александрович – ученый и организатор науки в области культуры болот Украины, Беларуси и России, член-корреспондент Академии наук УССР, доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Родился 5 апреля 1889 г. в д. Анновка Верхнеднепровского уезда Катеринославской губернии (теперь – Днепропетровская область) в семье служащего Александровского уездного земства (Херсонская губерния), потомственного дворянина. Учился в сиротском классе Полтавской классической гимназии императора Александра I Благословенного, одной из лучших в Российской империи. Занимаясь репетиторством, окончил полный курс Полтавского коммерческого училища А. А. Байера. В 1906 г. после сдачи вступительных экзаменов зачислен на сельскохозяйственное отделение Киевского политехнического института императора Александра II (теперь – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени И. Сикорского»). Круг научных интересов Н. А. Тюленева сформировался под влиянием лекций и практических занятий профессоров П. Р. Слезкина, В. Г. Бажаева, К. Г. Шиндлера, Д. В. Ключарева, Ф. И. Левченка и др.

В мае 1911 г. получил диплом I разряда по специализации «культуротехник» и правом на чин коллежского секретаря. С 15 октября 1911 г. по январь 1912 г. являлся практикантом Департамента земледелия Главного управления земледелия и землеустройства и по совместительству – специалистом-агрохимиком Минской болотной станции, которая открылась 1 июля 1911 г. под руководством доктора ботаники А. Ф. Флёрова. Он был приглашен для выполнения первого из десяти заданий работы станции, поставленных Минской губернской земской управой: отбора и проведения специальных анализов болотных почв Минской губернии. На протяжении августа – октября 1911 г. совместно с В. И. Морозовым проводил экспедиционные исследования, включая выбор специального участка для размещения станции. Результаты работы в виде отчетов: «Почвенный состав Минской болотной опытной станции» (1911) и «Низинные болота Слуцкого и Минского уездов Минской губернии» (1912) – Н. А. Тюленевым были переданы в Департамент земледелия и, кроме того, опубликованы в «Болотоведение» – вестнике Минской болотной опыт-

ной станции в 1912 г. Отчеты стали первыми в России, в которых с научной точки зрения рассматривались вопросы происхождения, химические и физические свойства болотных почв.

С января 1912 г. являлся слушателем курсов по культуре болот Департамента земледелия для выпускников специальных сельскохозяйственных учебных заведений при Рижском политехническом институте. Будучи одним из лучших выпускников, летом 1912 г. посетил Швецию, Данию и Германию для закрепления знаний и знакомства с работой образцовых болотных хозяйств Прибалтийского края и Финляндии.

Согласно приглашения Департамента земледелия от 6 сентября 1912 г. – младший специалист по сельскохозяйственной части, а также лектор по культуре болот и луговодству при Санкт-Петербургском сельскохозяйственном музее. До 15 октября 1915 г. исполнял обязанности помощника редактора журнала «Земледелец». В эти годы продолжал публиковать результаты своих исследований белорусских болот, стал соавтором первого обобщающего труда о становлении и развитии культуры болот в стране, изданного Департаментом земледелия в 1914 г. под общей редакцией В. Н. Штейна. С начала 1915 г. был старшим специалистом сельскохозяйственной части Департамента земледелия и заведующий курсами по подготовке мастеров по культуре болот и луговодству в г. Казани. Позже до 1917 г. являлся специалистом по культуре болот Владимирско-Рязанского управления земледелия и государственных имуществ Владимирского губземотдела. Следующие два года был старшим специалистом по культуре болот Департамента земледелия Владимирской губернии. С февраля 1919 г. – старший специалист по культуре болот Киевского губернского земельного отдела, а затем – помощником директора Товарищества «Торф» (г. Проскуров).

По ходатайству Товарищества «Укрторф» (г. Киев) от 8 февраля 1921 г. в качестве старшего инспектора по технической части для Левобережной Украины (Полтава, Харьков, Кременчугская губерния) отвечал за полноценную работу торфоразработок в этом регионе. Кроме того, с 1 февраля 1921 г. являлся научным сотрудником сначала секции кормовой площади, а затем – мелиорационной секции Сельскохозяйственного научного комитета Украины (теперь – Национальная академия аграрных наук Украины). Приказом по Наркомзему УССР от 08.05.1922 назначен заведующим научно-технического отдела Укрмелиосоюза. Координировал деятельность мелиоративных станций УССР. Был участником и докладчиком на первых трех Всеукраинских съездах землеустроителей и мелиораторов, губернских и окружных съездах по опытному делу Киевской и Волынской губерний, а также был одним из главных вдохновителей открытия Центральной научно-опытной мелиоративной станции в с. Казаровичи в 1922 г. В этом же году создал Сагайдацкую оросительную опытную станцию. Совместно с академиком АН УССР Е. В. Оппоковым в 1923 г. инициировал открытие в г. Киеве Научно-исследовательского института водного хозяйства Украины (теперь – Институт гидромеханики НАН Украины). Еще более конструктивной оказалась его роль в появлении 23 декабря 1929 г. Украинского НИИ сельскохозяйственных мелиораций в г. Харькове на основе Северной и Южной краевых мелиоративных организаций (теперь – Институт водных проблем и мелиорации НААН).

Результаты исследований на созданной им в 1923 г. Рудня-Радовельской болотно-мелиоративной опытной станции, которую он возглавлял до 1932 г., принесли ему известность украинского Вебера (его сравнивали с выдающимся немецким ученым Карлом Альбертом Вебером (1856–1931), который специализировался на изучении первичной болотной растительности). Инициировал разработку рабочих программ для семи

многофакторных схем гидротехнических, гидрологических, геоботанических и почвенных исследований, результаты которых опубликованы на страницах основанного им в 1926 г. сборника «Трудов» станции с расширенной аннотацией на немецком языке. Привлекая к исследованиям лучших специалистов по проблеме, Н.А. Тюленеву удалось отработать теоретико-методологические и практические рекомендации сельскохозяйственного использования осушенных почв зоны Полесья. Являлся инициатором и организатором Первого Всесоюзного съезда по культуре болот, который состоялся на станции 24–26 сентября 1927 г. Представлял УССР на Первом и Втором Всесоюзном совещании луговодов-исследователей. С 1926 г. по совместительству работал культур-техником Северной краевой мелиоративной организации.

С 1923 г. преподавал культуру болот и луговодство в Киевском сельхозинституте (теперь – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины). В 1927 г. издал «Курс по луговодству». Кроме того, в 1930–1948 гг. был консультантом дипломных проектов, а затем – профессором и заведующим кафедрой земледелия Киевского гидромелиоративного института (ныне – Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно). На протяжении 1930–1934 гг. – являлся действительным членом Высшего научно-технического совета Наркомзема УССР по рассмотрению проектов мелиорации по осушению и орошению осушенных болотных массивов. С 1934 г. по июль 1941 г. был членом Комитета Наркомзема УССР по изобретательству и Научно-технического совета Главводохозяйства при НКС УССР.

25.07.1940 г. при Московском гидромелиоративном институте защитил докторскую диссертацию на тему «Выращивание сахарной свеклы на осушенных торфяных почвах УССР». В ней он, несмотря на сомнения немецких ученых Хаузера, Ремера, Цауса и отечественных академиков И. В. Якушкина и Д. Н. Прянишникова, доказал не только возможность выращивать сахарную свеклу на хорошо разложившихся осушенных торфяниках, но и получать на них урожай от 700 до 1000 ц/га.

Во время Великой Отечественной войны продолжал проводить полевые исследования на Панфильской опытной станции, тем самым фактически сохранив ее материально-техническую и интеллектуальную базу от уничтожения. С отступлением оккупантов все полученные результаты передал в Украинское НИИ сельскохозяйственной мелиорации (далее – УНИИСХМ) и Наркомзем УССР. С 16.05.1944 г. перешел на постоянную работу в УНИИСХМ (после перевода из Одессы в Киев по решению правительства УССР). В 1946–1948 гг. по заказу «Укрсельхозэлектропроекта» и «Укргидромелиоратпроекта» разработал культурно-технические мероприятия для бассейнов рек Рось, Уж, Случ, Сенюка, Псел, Мурафа. Решением общего собрания АН УССР от 2 июля 1948 г. избран ее членом-корреспондентом по направлению «Сельскохозяйственные науки».

С января 1949 г. возглавлял группу агромелиорации Института физиологии и агрохимии АН УССР (теперь – Институт физиологии растений и генетики НАН Украины). При этом остался по совместительству старшим научным сотрудником УНИИСХМ, осуществлял научное руководство исследовательской работой в области освоения торфяных почв УССР. Вместе со своим учеником А. М. Янголем обосновывал необходимость двустороннего регулирования водного режима осушенных почв.

В 1949 г. разработал не имеющую аналогов в стране аэрационную кротодренажную пятикорпусную машину КДМ-4, которая была принята в серийное производство в Украине. За восемь часов работы она оставляла 5–6 км дрен, проводя дренаж на глубину

0,75–0,80 м через 10, 15 и 20 м. С ее помощью на 1290 тыс. га болот и заболоченных земель зоны Полесья удалось повысить урожайность сельскохозяйственных культур на 18–30 %.

Н. А. Тюленев активно участвовал в различных проблемных совещаниях по всей стране, включая БССР, например в двух совместных сессиях ВАСХНИЛ и АН БССР в Минске (1955, 1958), посвященных обобщению опыта в отрасли освоения и использования болотных и заболоченных почв в районах Нечерноземной зоны Европейской части СССР. В период 1955–1956 гг. руководит лабораторией кормодобывания сектора животноводства Президиума АН УССР.

Научно обосновал новый подход к использованию осушенных торфяных почв Полесья и Лесостепи УССР, условно поделив их на промышленные зоны: молочного животноводства и расширенного овощеводства. Рекомендовал агротехнику выращивания полевых культур.

С 13 августа 1956 г. заведовал отделом освоения пойменных земель УНИИ гидротехники и мелиорации. Из-за ухудшения здоровья в 1961 г. перешел на должность старшего научного сотрудника, а в 1963 г. – научного консультанта отдела освоения пойменных земель УНИИГиМ.

Наибольшую востребованность научные разработки Н. А. Тюленева в вопросах оптимизации водно-воздушного режима, культуротехники, первичной обработки и структуры посевов получили после пленума ЦК КПСС 27–29 мая 1966 г., который принял постановление «О широком развитии мелиорации земель для получения высоких и устойчивых урожаев зерновых и других сельскохозяйственных культур».

Н. А. Тюленев ушел из жизни 3 декабря 1969 г. Его похоронили в г. Киеве на Байковом кладбище.

Творческое наследие «...самого старого болотника, первого пионера культуры болот в БССР и Украине...» (как называл его в своем отзыве в 1940 г. на докторскую диссертацию Н. А. Тюленева авторитетный отечественный специалист в отрасли мелиорации профессор В. Р. фон Ридигер) составляет 218 научных и научно-популярных работ. Среди его учеников – А. М. Янголь, П. П. Кубышкин, М. С. Проскура, А. З. Шкляр, М. К. Ковалевич, Ю. В. Шелестов, В. Р. Гимбаржевский, Н. Н. Шевченко и др., которые прославили мелиоративную науку. Много лет сотрудничал с известным белорусским ученым академиком С. Г. Скоропановым. Н. А. Тюленев часто выступал официальным оппонентом на защитах кандидатских и докторских диссертаций по всей стране, а также консультировал соискателей при их подготовке, среди которых были и белорусские ученые. Характерным примером может служить кандидатская диссертация А. И. Хотько.

Н. А. Тюленева по праву называют основоположником украинской школы осушительной мелиорации. Разработанные им севообороты считаются наиболее рациональными в земледелии на осушенных землях Лесостепи и Полесья Украины. То же самое касается лугового травостояния, для которого он разработал оптимальные нормы высева и соотношения бобовых и злаковых компонентов, а также культуры кукурузы. Отдельные идеи Н. А. Тюленева оказались прогностичными относительно сельскохозяйственного использования осушенных земель гумидной зоны Украины и особенно Полесья. Еще в 1954 г. он научно обосновал шесть основных элементов, которые позволили бы рационально использовать дерново-подзолистые почвы региона и, главное, – предотвратить их деградацию. К сожалению, несоблюдение его рекомендаций в новом тысячелетии подтвердили его опасения.

Желающие подробнее узнать о творческом пути Н. А. Тюленева могут ознакомиться со следующими изданиями: Вергунов В. А. Член-корреспондент АН УССР М. О. Тюленев

(1889–1969) – вчений, педагог та фундатор сільськогосподарської меліоративної дослідної справи в Україні (до 130-річчя від дня народження) / В. А. Вергунов. – Рівне: НУВГП, 2019. – 123 с. – (Іст.-біогр.сер. «Аграрна наука України в особах, документах, бібліографії», кн. 108); Вергунов В. А. Історія наукового забезпечення осушуваних меліорацій в Україні: член-кореспондент АН УРСР М.О. Тюленев (до 130-річчя від дня народження): наук. доп. / В. А. Вергунов. – Київ: вид-во ТОВ «ЦП «Компринт», 2019. – 29 с.

*В. А. Вергунов,
академик Национальной академии аграрных наук Украины,
иностранный член Российской академии наук,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
заслуженный работник сельского хозяйства Украины*

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. В журнале печатаются оригинальные материалы, не опубликованные ранее в других печатных изданиях.

2. Объем статьи должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 тыс. печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.), но не более 0,5 авторского листа (20 тыс. печатных знаков), включая текст, иллюстрации, таблицы, библиографию.

3. К статье необходимо приложить: экспертное заключение о возможности опубликования; краткие сведения об авторах: фамилия, имя и отчество автора полностью, ученое звание, ученую степень, должность или профессию, полное название учреждения (организации), телефон и адрес для связи с автором. Если авторов несколько, то сведения представляются по каждому автору отдельно.

4. Представляемые материалы должны включать следующие элементы: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); ключевые слова на русском и английском языках; аннотацию на русском и английском языках (500 знаков); введение; основную часть, включающую графики и рисунки; заключение, завершаемое четко сформулированными выводами; список цитированных источников. Согласно Постановлению ВАК Беларуси от 22.02.2006 №2 (глава 5 Инструкции по оформлению диссертации, автореферата и публикации по теме диссертации).

5. В разделе «Введение» должен быть дан краткий обзор литературы по исследуемой проблеме, указаны нерешенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы.

6. Основная часть статьи должна содержать описание методики, объектов исследования и подробно описывать содержание исследований, проведенных автором (авторами). Полученные результаты должны быть обсуждены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными.

7. В разделе «Заключение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

8. Библиографический список оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1–2003, располагается в конце текста, нумеруются согласно порядку цитирования в тексте и заключаются внутри квадратных скобок (например: [1], [2]). Обязательно указывается общее количество страниц в книге или номера страниц от начала до окончания статьи. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

9. Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

10. Обязательно прилагаются распечатанные на бумажных листах 2 экземпляра статьи, подписанные авторами.

11. Электронный вариант следует набирать в Microsoft Word, формулы — в формульном редакторе Office. Вставку символов выполнять через меню «Вставка\Символ». Выключку вверх и вниз (H2, H1) выполнять через меню «Формат\Шрифт\Верхний индекс», «Формат\Шрифт\Нижний индекс». Латинские буквы набираются курсивом. Греческие буквы и другие математические знаки брать из гарнитуры «Symbol». Математические формулы (lim, sum, ln, sin, Re, Im и т. д.) и цифры набираются прямым начертанием.

12. Рисунки предоставляются в виде отдельных файлов в формате TIFF или JPEG 300–600 точек на дюйм. Текст на рисунках должен быть набран гарнитурой Arial, курсив. Размер кегля соизмерим с размером рисунка (желательно кегль 8). Площадь простых рисунков не должна превышать 100–150 см², размер сложных — не более 130–160 мм.

13. Размерность всех величин, используемых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ), за исключением температуры, которую допускается приводить в °С.

14. Редакция оставляет за собой право сокращать текст и вносить редакционную правку.

Уважаемые читатели!

В 2019 году распоряжением Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 февраля 2019 года №21-р наш журнал включен в Перечень научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Приглашаем научных работников Беларуси и ближнего и дальнего зарубежья присылать статьи для размещения в журнале «Мелиорация».

Адрес электронной почты: info@niimel.basnet.by.