

rybohozyajstvennyh vodoemov Azovo – Chernomorskogo. – R.n/D.: Yuzhvodproekt, 1998. – S. 256-263.

11. Ali M.S., Beglyarov D.S., Chebaevsky V.F. Nasosy i nasosnye stantsii: Uchebnyk. – M.: Izd-vo RGAU-MSHA, 2015. – 330 s.

The material was received at the editorial office
17.10.2019

Information about the authors

Beglyarov David Surenovich, doctor of technical sciences, professor of the department of agricultural water supply and discharge; FSBEI HE RSAU-MAA named after

C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Akademicheskaya, 44.

Bakshtanin Alexander Mikhailovich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of complex usage of water resources and hydraulics; FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova; 19; e-mail: bakshtanin@mail.ru

Kostina Ekaterina Sergeevna, master student of the department of agricultural water supply and discharge; FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Akademicheskaya, 44; e-mail: kostina1996katyshka@mail.ru

УДК 502/504:626.862:624.131.6

DOI 10.34677/1997-6011/2019-5-71-76

Г.В. ШИБАЛОВА, Ш.О. САТ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева» г. Москва, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДРЕН С РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ ФИЛЬТРОВ

Цель работы – произвести сравнительную оценку эффективности работы вертикальных дрен с разными конструкциями фильтрового звена, применяемых для снижения уровня грунтовых вод на территориях, подверженных подтоплению. Исторически сооружение жилых построек осуществлялось по берегам рек, которые служили жизненными артериями для населения. Весной и во время выпадения обильных ливней река, переполненная талыми или дождевыми водами, выходила из берегов. Вода затоплила прибрежные территории, вызвала подтопление расположенных на них построек. Сооружениями для защиты от затопления поверхностной водой служили насыпные дамбы. От повышения уровня подземной воды защита, как правило, не предусматривалась. В современных условиях в населенных пунктах, построенных на берегах крупных рек, таких как Енисей, проблемы затопления и подтопления стоят наиболее остро с учетом того, что река имеет горный характер. Исследования для решения поставленной задачи проводились в лабораторных условиях на модели, имитирующей работу вертикального дренажа. Для сравнения были взяты трубки одного диаметра, оборудованными фильтрами с различными по размеру и форме отверстиями. Дренажные трубки были подсоединены к коллектору, из которого производилась принудительная откачка воды с помощью насосного оборудования. При выполнении эксперимента осуществлялись измерения объемов откачиваемой воды, величин понижения уровней подземной воды в центре контура и на его границах. По результатам исследования работы дрен были построены графики, позволяющие сравнить и оценить эффективность применения дрен с различной конструкцией фильтровой части. По окончании проведения исследовательских работ и обработки полученных значений были сделаны практические заключения и выводы о наиболее эффективной конструкции дрен.

Подтопление, повышение уровня воды, дренажные трубки, конструкции фильтров, фильтрационные свойства, условия питания подземных вод, эффективность работы дрен

Введение. Процесс повышения уровня грунтовых вод по причинам естественного и искусственного происхождения принято называть подтоплением. Техногенное

подтопление может возникать, например, при строительстве водохранилищ на реках и водотоках, появлении утечек из коммуникаций, осуществлении оросительных мелиораций.

Близкое расположение уровня воды к поверхности земли нарушает динамику естественного изменения уровней воды, влияет на водный баланс территорий. Одна из основных задач при проектировании, строительстве, эксплуатации построенных сооружений – предупреждение или прогнозирование техногенного изменения уровней подземной воды.

При наличии естественного повышения уровней воды, которое может возникать при таянии накопленных запасов снега, льда, что свойственно районам с резко континентальным климатом, должна решаться проблема другого характера. Спрогнозировать мощность очередного паводка на реке возможно только ориентировочно.

К возникновению наводнений приводят резкие колебания температур, интенсивное выпадение осадков, происходящее в весенне-летне-осенний период, при этом наводнения могут повторяться несколько раз за сезон.

Отсыпанные на берегах рек защитные дамбы из крупнообломочных грунтов задерживают только часть паводковой воды. Фильтрующаяся часть воды должна перехватываться береговым дренажем. В местах исторической застройки дренаж представляет собой открытые канавки, которые работают неэффективно и не перехватывают мощный поток воды.

Повышение уровня грунтовой воды на территориях отрицательно сказывается на хозяйственной деятельности, приводит к нарушению условий жизни местного населения, ухудшению состояния жилищной застройки, требующей проведения ремонтных работ после каждого повышения уровня воды. Ухудшаются санитарно-гигиенические условия проживания людей [1].

Во время прохождения паводков, приводящих к поднятию уровня грунтовых вод, некоторые работы могут приостанавливаться из-за затопления транспортных магистралей и невозможности обеспечения поставок оборудования и материалов.

Для защиты в таких условиях при периодическом поднятии грунтовой воды необходимо применение наиболее эффективных конструкций дренажа.

Применение вертикального дренажа с принудительной откачкой грунтовой воды более надежно может защитить территории

от подтопления. В работе рассмотрены различные варианты вертикального дренажа с использованием дрена, оборудованных фильтрами с круглой и щелевой перфорацией. Для защиты от заиливания отверстий мелкими частицами грунта предусматривалось применение защитно-фильтрующего материала. Проводилась оценка объемов откачиваемой воды за определенный промежуток времени, выполнялись замеры величин понижения уровней воды в центре и на границах воронки депрессии.

По результатам проведенных исследований были сделаны выводы об эффективности работы каждой конструкции.

Материал и методы исследований. Применение вертикального дренажа для защиты территорий от подтопления определяется различными гидрогеологическими условиями. Дренаж в целом представляет собой инженерную систему, которая сооружается для предохранения территорий от грунтовых и ливневых вод. Вертикальный дренаж применяется в водонасыщенных грунтах большой мощности, в которых требуется понижение уровня подземных вод на значительную глубину, а использование горизонтального дренажа нецелесообразно с точки зрения экономики или при неоднородном слоистом строении дренируемой толщи грунтов.

В рассматриваемой модели изучалось понижение уровня грунтовой воды для системы скважин совершенного типа, вертикальные трубки были опущены до дна емкости (до водоупора). Приток к такому контуру осуществляется только по безнапорной зоне (боковой).

Эффективность работы системы вертикальных скважин во многом определяется видом используемых фильтров, их качеством и размерами [2].

Фильтры скважин вертикального дренажа устраивают различными по конструкции. Основные элементы – каркас и водопримная поверхность. На практике используют каркасы стержневые или трубчатые, перфорация может быть щелевая или круглая. Размеры водопримных отверстий определяются с учетом гранулометрического состава пород дренируемого пласта или искусственной обсыпки.

В проведенном эксперименте по сравнению эффективности работы вертикальных трубок-дрен был использован грунт – песок. В зависимости от вида грунта дренируемой толщи и его свойств возможно получение различных результатов по осушению. Поэтому до начала

проведения исследования были определены основные его геотехнические свойства.

Гранулометрический состав исследуемого грунта был определен ситовым методом в соответствии с требованиями ГОСТ 8735-88 [3]. Плотность песчаного грунта определялась методом стандартного уплотнения по ГОСТ 22733-2002 [4].

В грунте, находящемся в водонасыщенном состоянии, количество воды, которое фильтруется в единицу времени, изменяется прямо пропорционально площади поперечного сечения потока, разности напоров воды, определяющем начало фильтрации, и обратно пропорционально длине пути фильтрации.

Скорость фильтрации зависит от расхода воды, протекающей в единицу времени через единицу площади поперечного сечения потока.

Для различных грунтов величина коэффициента фильтрации различна, ее количественное значение определяет водопроницаемость грунтов.

Для более точного определения значения коэффициента фильтрации необходим учет конкретного значения температуры воды, так как вязкость воды снижается при повышении температуры.

Коэффициент фильтрации исследуемого грунта был определен в соответствии с требованиями ГОСТ 25584-2016 [5].

До начала проведения эксперимента грунт был помещен в прозрачную емкость. Для насыщения песка водой и создания условий подтопления на дно емкости была помещена перфорированная трубка. Заполнение емкости производилось с помощью создания разряжения и закачивания через вертикальную трубку. Закачивание воды в грунт осуществлялось до уровня грунта.

Для того чтобы при проведении эксперимента за изменениями уровней воды можно было наблюдать визуально, было решено

использовать подкрашенную воду. При этом были проверены три вида красителей: бриллиантовая зелень; люминесцентная краска, используемая для заполнения маркеров; насыщенный раствор свекольного сока. Наиболее эффективным оказалось подкрашивание воды люминесцентной краской. При этом грунт не окрашивался, снижающийся уровень воды проглядывался наиболее четко.

Опыты проводились с трубками, оборудованными фильтрами с круглыми отверстиями диаметром $D = 4$ мм, $D = 2$ мм и щелевыми отверстиями длиной 7 мм, шириной 2 мм. Размер отверстий и их количество в дренах подбирались из условия равенства суммарной площади фильтровой поверхности.

Откачка воды производилась в течение 20 минут. За время откачки воды наблюдалось видимое снижение уровня воды.

На рисунке 1 показаны фотографии откачки воды при размещении вертикальных дрен в середине и у стенки емкости.

В таблице 1 приведены данные измерений объема откачиваемой воды, величина понижения уровня воды в центре контура и на границах исследуемой зоны при размещении дрен в середине емкости.

Для сравнения эффективности работы различных вариантов конструкций дрен по результатам измерения объемов откачиваемой воды построены графики. На рисунке 2 показаны зависимости изменения объемов откачиваемой воды при расположении дренажных трубок в центре.

В таблице 2 приведены данные измерений объема откачиваемой воды, величины понижения уровня воды в центре контура и на границах исследуемой зоны при размещении дрен у стенки емкости.

На рисунке 3 показаны зависимости изменения объемов откачиваемой воды при расположении дренажных трубок у стенки емкости.

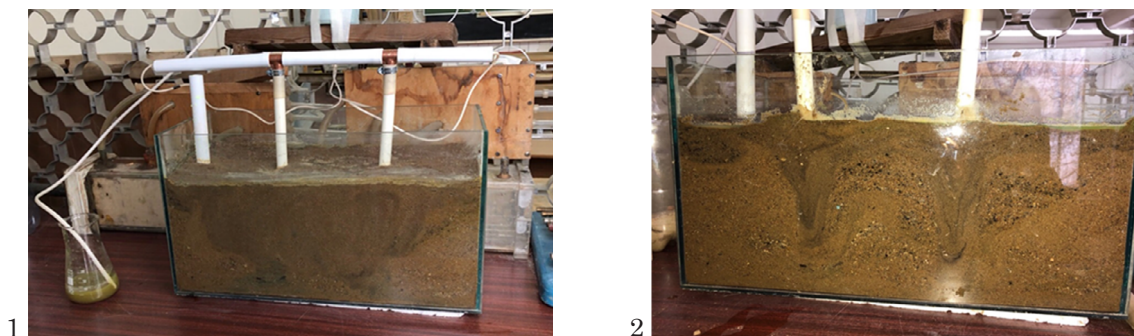


Рис. 1. Откачка воды при размещении дрен:

1 – в середине емкости, 2 – у стенки емкости

Результаты измерений при размещении дрен в середине емкости

№ опыта	Форма и размер отверстий фильтра	Площадь фильтровой поверхности, м ²	Продолжительность откачки, мин.	Понижение уровня воды в центре контура, см	Понижение уровня воды вне контура справа, см	Понижение уровня воды вне контура слева, см	Объем откачиваемой воды, мл
1	Круглое D = 4 мм	F = 0,00026	20	13,24	3,06	4,61	204,4
2	Круглое D = 2 мм	F = 0,00024	20	13,16	2,74	4,46	209
3	Щелевое 2 × 7 мм	F = 0,00025	20	13,54	3,42	4,74	236

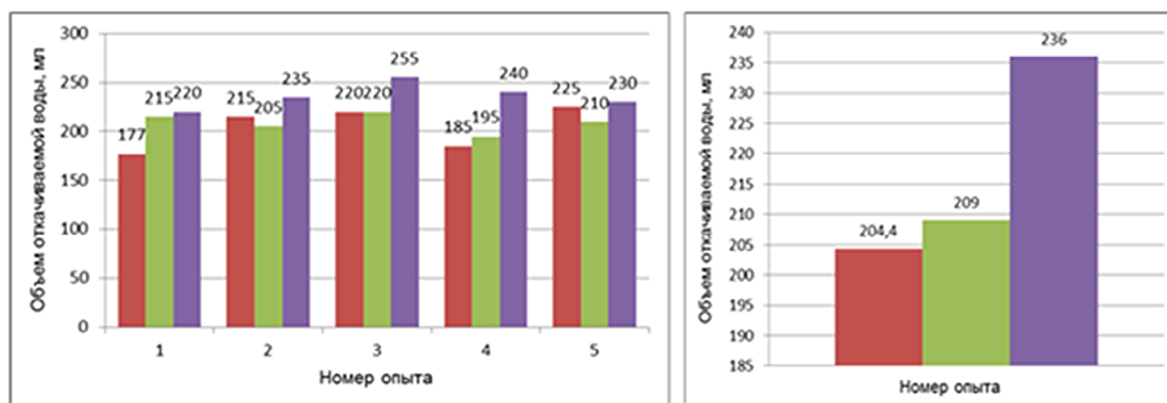


Рис. 2. График изменения объема откачиваемой воды при расположении дренажных трубок в центре:

■ – фильтр с отверстиями D = 4 мм, ■ – фильтр с отверстиями D = 2 мм,
 ■ – фильтр с щелевыми отверстиями 2 × 7 мм

Результаты измерений при размещении дрен у стенки емкости

№ опыта	Форма и размер отверстий фильтра	Площадь фильтровой поверхности, м ²	Продолжительность откачки, мин.	Понижение уровня воды в центре контура, см	Понижение уровня воды вне контура справа, см	Понижение уровня воды вне контура слева, см	Объем откачиваемой воды, мл
1	Круглое D = 4 мм	F = 0,00026	20	3,8	3,31	3,44	135,4
2	Круглое D = 2 мм	F = 0,00024	20	3,75	3,27	3,37	134
3	Щелевое 2 × 7 мм	F = 0,00025	20	4,17	3,45	3,55	149

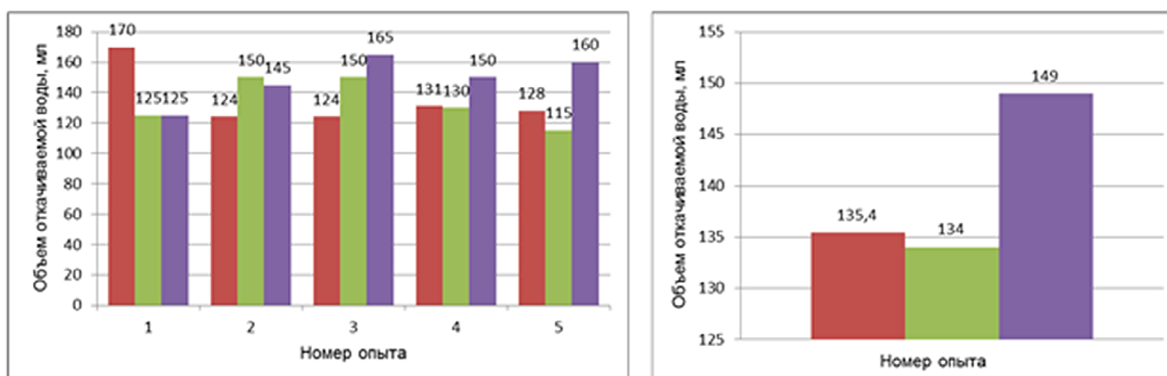


Рис. 3. График изменения объема откачиваемой воды при расположении дренажных трубок у стенки:

■ – фильтр с отверстиями D = 4 мм, ■ – фильтр с отверстиями D = 2 мм,
 ■ – фильтр с щелевыми отверстиями 2 × 7 мм

Результаты и обсуждение. Созданная модель, имитирующая работу вертикального дренажа, на уровне лабораторных исследований позволяет провести оценку изменения объемов откачиваемой воды и величин понижения уровней подземной воды с применением измерительного метода и способа визуального наблюдения. При выполнении опытных работ были использованы трубки-дрены одинакового диаметра, оборудованные фильтрами с различной перфорацией. Были исследованы три вида фильтров: с круглой перфорацией двух разных диаметров 4 мм и 2 мм и с щелевыми отверстиями. Проведенный эксперимент показал, что наиболее эффективно в заданных условиях работают дрены, оборудованные фильтром с щелевой перфорацией. Первоначально исследования проводились при размещении вертикальных дрен в середине емкости. Далее в целях получения возможности визуального наблюдения за изменением уровня воды в последующих опытах дренажные трубки были погружены у стенки емкости. Откачка воды производилась при тех же начальных условиях, что и при расположении трубок в центре емкости. Полученные результаты дают возможность проанализировать, какие изменения происходят в толще грунта при работе вертикального дренажа. Проведенные исследования по изучению работы вертикальных дрен выполнялись с использованием одного вида грунта, песка среднезернистого. Для получения наиболее достоверных результатов, возможности применения и рекомендаций при осушении конкретных территорий необходимо дополнительно изучить работу дрен в условиях, максимально приближенных к реальным.

Проведенные исследования могут служить отправным моментом для перехода к изучению работы дренажа на основе экспериментально-аналитических методов. Метод электрогидродинамических аналогий (ЭГДА) дает возможность решать сложные задачи пространственной фильтрации при сложных гидрогеологических условиях [6].

Выводы

По результатам проведенного эксперимента по оценке эффективности работы вертикального дренажа с различной конструкцией дрен можно сделать следующие выводы:

1. Большой объем воды за одинаковый промежуток времени откачивался при использовании дрен с щелевым

фильтром в обоих случаях: при расположении дрен в середине емкости и у стенки.

2. Меньший объем воды откачивался при использовании фильтров с круглыми отверстиями диаметром 2 мм.

3. Величина понижения уровня воды в центре контура получилась больше при использовании дрен с щелевым фильтром.

4. При установке дрен около стенки емкости количество откачиваемой воды снизилось за счет уменьшения поверхности фильтра, через который поступала вода в фильтр.

5. Понижение уровня воды в центре контура, наглядно зафиксированное при установке дрен у стенки емкости, было ниже при использовании щелевых дрен.

6. Снижение объема откачиваемой воды в некоторых случаях можно объяснить тем, что происходила кольматация отверстий мелкими частицами грунта, после очистки фильтровых отверстий объем откачиваемой воды увеличивался.

7. Для получения наиболее достоверных результатов исследования следует продолжить с другими видами грунта.

Библиографический список

1. Последствия подтопления застроенных территорий и способы их дренирования / Куранов Н.П., Муфтахов А.Ж., Шевчик А.П. и др. / Итоги науки и техники: Гидрогеология. Т. 13. – М.: Изд-во ВИНТИ, 1991. – 130 с.
2. **Абрамов С.К.** Защита территорий от затопления и подтопления. – М.: Госстройиздат, 1961. – 424 с.
3. ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний (с Изменениями № 1, 2, с Поправкой). Дата введения 1989-07-01. <http://docs.cntd.ru/document/1200003348>
4. ГОСТ 22733-2002 Межгосударственный стандарт. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. Soils Laboratory method for determination of maximum density. Введен в действие Постановлением Госстроя РФ от 27 декабря 2002 г. № 170. <https://best-stroy.ru/storage/docs/pdf/gost-22733-2002.pdf>
5. ГОСТ 25584-2016 Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. Soils. Laboratory methods for determination of coefficient of hydraulic conductivity. Дата введения 2017-05-01. <http://docs.cntd.ru/document/1200141112>
6. **Пономарева И.Н., Мордвинов В.А.** Подземная гидромеханика: Учебное пособие. – Пермь, Перм. гос. техн. ун-т, 2009. – 103 с.

Материал поступил в редакцию 30.06.2019 г.

Сведения об авторах

Шибалова Галина Вячеславовна, доцент кафедры организации и технологии строительства объектов природообустройства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА

имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44; e-mail: virginsoil@yandex.ru

Сат Шончалай Олеговна, магистр ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44; e-mail: shonchalay.sat.1994@mail.ru

G.V. SHIBALOVA, SH.O. SAT

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

STUDYING OF THE USAGE EFFICIENCY OF VERTICAL DRAINS OF A DIFFERENT FILTERS DESIGN

The purpose of the given work is to make a comparative assessment of the operation efficiency of vertical drains of different filter designs used to reduce the groundwater level in the areas prone to flooding. Historically, residential buildings were constructed on the banks of rivers which served as a vital artery for the population. In spring and during heavy raining the river flooded by melt or rainwater used to overflow out of the banks. Water flooded inshore areas and the buildings located on them and as a result of the groundwater level rising caused their flooding. Filling dams served as structures for flooding protection of surface water. As a rule, there was no protection against rising of groundwater levels. Under modern conditions in the settlements built on the banks of large rivers, such as the Yenisei, problems of flooding are most acute due to the fact that the river has a mountainous character. Studies to solve the problem were carried out under the laboratory conditions on a model simulating the work of vertical drainage. For comparison, there were taken tubes of the same diameter equipped with filters of the holes of different size and form. Drainage pipes were connected to the collector from which the forced water pumping by means of the pumping equipment was made. During the experiment there were measured volumes of the pumped water, values of levels lowering of the underground water in the center of the circuit and at its boundaries. According to the results of the operating drains studying there were built graphs allowing to compare and evaluate the drains usage efficiency of a different filter part design. At the end of the research and processing of the values there were made practical conclusions and conclusions of the most effective design of drains.

Flooding, raising of water level, drainage pipes, designs of filters, filtration properties, conditions of groundwater feeding, efficiency of drains operation.

References

1. Posledstviya podtopleniya zastroennykh territorij sposoby ih drenirovaniya / Kuranov N.P., Muftakhov A.Zh., Shevchik A.P. i dr. / Itogi nauki i tehniki: Gidrogeologiya. – M.: Izd-vo VINITI, 1991. T. 13. – 130 s.

2. **Abramov S.K.** Zashchita territorij ot zaptopeniya i podtopleniya. M.: Gosstroyizdat, 1961. – 424 s.

3. GOST 8735-88. Pesok dlya stroitelnykh rabot. Metody ispytaniy (s Izmeneniyami No 1, 2, s Popravkoj). Data vvedeniya 1989-07-01

4. GOST 22733-2002 Mezhhgusadarstvenny standart. Grunty. Metod laboratornogo opredeleniya maksimalnoj plotnosti. Vveden v dejstvie Postanovleniem Gosstroya RF ot 27 dekabrya 2002 g. № 170. <https://best-stroy.ru/storage/docs/pdf/gost-22733-2002.pdf>

5. GOST 25584-2016 Mezhhgusadarstvenny standart. Grunty. Metod laboratornogo opredeleniya

koefitsienta filtratsii. Data vvedeniya 2017-05-01. <http://docs.cntd.ru/document/1200141112>

6. **Ponomareva I.N., Mordvinov V.A.** Podzemnaya gidromekhanika: Uchebnoe posobie. Perm, Perm. gos. tehn. un-t, 2009. 103 s.

The material was received at the editorial office
30.06.2019 g.

Information about the authors

Shibalova Galina Vyacheslavovna, associate professor of the chair «Organization and technologies of construction of environmental engineering objects». FSBEI HE RSAU-MAA, 127550. Moscow, ul. B. Akademicheskaya. d. 44; e-mail: virginsoil@yandex.ru

Sat Shonchalay Olegovna, master FSBEI HE RGAU-MAA, 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya. d. 44; e-mail: shonchalay.sat.1994@mail.ru