

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПЛОЩАДКИ ТОРФЯНОГО УЧАСТКА

О.В. ПУХОВА, канд. техн. наук

Тверской государственный технический университет
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: owpuhova@mail.ru

© Пухова О.В., 2024

Рассмотрены вопросы о возможности использования вертикального принудительного кустового дренирования для дополнительного осушения сильно-обводненной производственной площадки на торфяном участке эфтрофного типа. Выявлено наименьшее отрицательное воздействие дренирования на окружающую природную среду, в частности на режим прилегающих водных объектов, при отработке торфяного месторождения «Ильинское». Изучено влияние дополнительного принудительного осушения (в зависимости от осадков и объема откачанной воды) на показатели изменения уровней грунтовых вод в скважинах и каналах. Проанализировано взаимодействие вертикальных скважин с торфяной залежью в процессе дополнительного принудительного осушения на контрольном участке в течение сезона. Установлено, что для вертикальной фильтрации особенности эпюры напоров зависят от изменений коэффициента фильтрации в слоях залежи. Выявлено, что непрерывная откачка воды из вертикальных скважин привела к образованию депрессионной воронки с местными дополнительными понижениями вблизи скважин. Подтверждена эффективность использования вертикального дренирования при понижении влажности эксплуатационного слоя ниже нормы (до 73,3 %). Отмечено, что по толщине залежь уплотнилась неравномерно, а распределение потенциалов влаги было неравновесным и зависело от расстояния до осушителей, а также от фильтрационных свойств торфа и других факторов.

Ключевые слова: торф, торфяная залежь, осушение, вертикальный дренаж, гидрологический режим, уровень грунтовых вод, напор, коэффициент фильтрации, дебит скважины, вертикальная фильтрация.

DOI: 10.46573/2658-5030-2024-1-60-68

ВВЕДЕНИЕ

В современных экономических условиях [1–3] горнопромышленные предприятия активно применяют комбинированные схемы в мелиорации торфяных участков низинного типа, под которыми расположена морена, перенесенная ледниковым щитом. Такой подход способствует снижению эксплуатационных затрат при производстве органоминеральных торфяных грунтов и субстратов и улучшителей почвы [4, 5] для садоводства и позволяет (в соответствии с законодательством) проводить рациональное и полное извлечение торфа [6].

Торфяное месторождение сильно обводненное, и при подготовке производственных площадок к эксплуатации проводятся гидротехнические мероприятия по осушению торфяной залежи [7–9]. Грунтовые воды торфяного месторождения в естественном состоянии до осушения близко подходят к поверхности и в особо пониженных местах выступают на дневную поверхность. Сама торфяная

залежь при этом находится в состоянии сильного водонасыщения и обладает низкой несущей способностью, что делает невозможным перемещение по ней машин и оборудования для осуществления производственного процесса добычи торфа. В результате осушения естественная влажность торфяной залежи уменьшается до эксплуатационного значения, требуемого для добычи торфяного сырья кондиционной влажности; торфяные частицы сближаются и поверхность залежи уплотняется, создавая ей несущую способность для передвижения торфяных машин и оборудования, а также повышается выход воздушно-сухого торфа. Важно отметить, что осушение способствует созданию плотной выровненной торфяной поверхности производственной площадки. При разработке плана развития горных работ на сезон добычи торфа особое внимание уделяется горно-геологическим и гидрологическим условиям на лицензионном участке, а также многолетним среднегодовым показателям и текущим значениям метеорологических факторов [10]. Это связано с технологией добычи торфа, в которой для понижения влажности готовой продукции до уборочных значений используется сушка в естественных условиях на поверхности торфяного расстила производственных площадок.

Анализ осушительной сети торфяного участка на месторождении «Ильинское» Тверской области показал, что она неработоспособна в связи с нахождением участка в пойме реки и близким выходом грунтовых вод. Такие же проблемы возникают на торфопредприятиях не только Российской Федерации, но и ряда зарубежных стран, в частности Ирландии (рис. 1). Заложенная осушительная сеть, состоящая из множества открытых осушителей (валовых, картовых и магистральных) [7, 8], оказалась неспособна отводить воду с производственной площадки участка и регулировать уровни грунтовых вод в осушительных каналах, а также поверхностный сток дождевых вод.



Рис. 1. Неработоспособная система осушительной сети на торфяном участке

Названные выше проблемы привели к снижению объемов добычи и в целом к невыполнению программы, установленной в соответствии с цикловым плановым графиком [11]. Для понижения влажности верхнего слоя залежи прокладка закрытых дрен на данном торфяном участке невозможна из-за трудности их заложения и быстрого смыкания вследствие сильного обводнения залежи. При подготовке производственной площадки торфяного участка для создания благоприятных условий процесса сушки торфяного сырья, т.е. понижения влажности эксплуатационного слоя подстилающей залежи, необходимо дополнительное принудительное осушение производственной площадки. Для этого предложено применить вертикальный дренаж (водопонижающие скважины). Таким образом, цель работы заключалась в оценке целесообразности использования вертикального скважинного дренирования для

дополнительного осушения торфяного участка с наименьшим отрицательным воздействием на окружающую среду, в первую очередь – на режим прилегающих водных объектов (реки Малицы). В ходе исследования была разработана дополнительная схема осушения торфяной залежи и определено влияние вертикального дренирования на изменение характеристик торфяной залежи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Научно-исследовательская работа выполнялась на производственной площадке торфяного участка месторождения «Ильинское», которое располагается в Лихославльском районе Тверской области (6,5 км на юго-запад от города Лихославля, юго-западнее села Ильинское). Площадь месторождения составляет 302 га, глубина – 5,2 м. Находится месторождение на левобережном склоне к реке Малица. Тип залежи низинный, степень разложения – 28 %, беспнистая, естественная влажность – 84,8 %, зольность – 12 %, уклон местности – с северо-востока на юго-запад, микрорельеф – волнистый, имеются подстилающие грунты пески и суглинки.

Месторождение имеет пологий склон и ровный рельеф поверхности. Производственная площадка находилась обособленно на юго-западной окраине в самой пониженной части месторождения. В центре ее были заложены три специальные вертикальные водопонижающие скважины с сетчатыми фильтрами (рис. 2) в водоносном слое, оборудованные погружными насосами. Из скважин откачка воды велась непрерывно. Она отводилась в ближайший искусственный водоприемник. Максимальное количество воды из скважины (дебит скважины) определялось либо большой мерной емкостью (а именно бочкой, после чего объем воды делили на время) в тех случаях, когда уровень постоянно падал до полного исчезновения, но через некоторое время восстанавливался и откачка возобновлялась; либо по паспортной производительности насоса в тех случаях, когда при откачке уровень устанавливался на одной отметке (т.е. вода прибывала в скважину со скоростью откачки насосом).

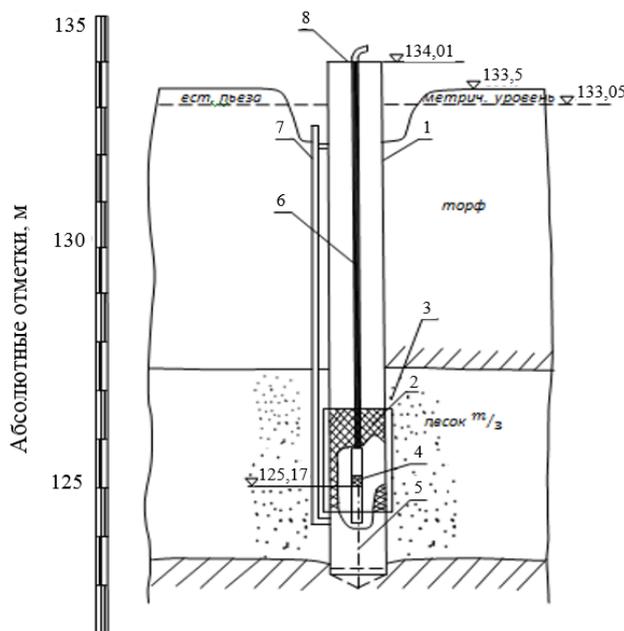


Рис. 2. Разрез вертикальной скважины: 1 – фильтровая труба (273 мм); 2 – сетка фильтра; 3 – крупно-песчаная обсыпка; 4 – всасывающая сетка насоса; 5 – деревянная пробка; 6 – напорный трубопровод; 7 – наблюдательная трубка; 8 – опорная плита насоса

В скважине уровень измерялся от уровня поверхности залежи до зеркала воды в ней при помощи веревки с привязанным грузом (при опускании в воду до булька). Ежедневно проводились измерения уровня грунтовых вод в залежи и пьезометрического уровня в подстилающих песках. Уровень грунтовых вод в картовых каналах контролировался линейкой. Осадка поверхности определялась нивелированием поверхности залежи. В центре карт по всей глубине залежи ежедневно отбирались пробы торфа на влажность.

Сбор метеорологических показателей осуществлялся ежедневно с фиксацией значений температуры воздуха и смоченного термометра (термометров в психрометрической будке); влажности воздуха (психрометра); облачности (визуально) и количества выпавших осадков (осадкомера Третьякова); скорости ветра (ручного анемометра) и атмосферного давления (барометра-анероида). Влажность торфа определяли стандартным весовым методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На экспериментальном участке планировалась добыча фрезерным способом торфяного сырья для приготовления питательных грунтов [5, 12–14]. В технологической схеме добычи процесс сушки будет тем интенсивнее, чем эффективнее проведено осушение торфяного массива. Это обуславливает меньшие значения эксплуатационной влажности и подпитку влагой из залежи сушимого слоя. В центре торфяных карт расположение поверхности грунтовой свободной воды (норма осушения) относительно спрофилированной поверхности (кривой депрессии) определялось измерением расстояний от поверхности грунтовых вод до поверхности торфяной залежи [7, 9]. При норме осушения более 50 см (рис. 3) подпитка торфяного слоя из торфяного расстила отсутствовала, поэтому не оказывала на процессы сушки негативного влияния. Хорошо спрофилированная поверхность торфяного расстила быстро отводила стоки [15] дождевых вод, но при меньших значениях нормы осушения (или высоком уровне грунтовых вод) зона аэрации уменьшалась за счет капиллярного поднятия, вызывая значительную подпитку верхнего слоя влагой. Тем самым ухудшался процесс сушки сфрезерованного слоя.

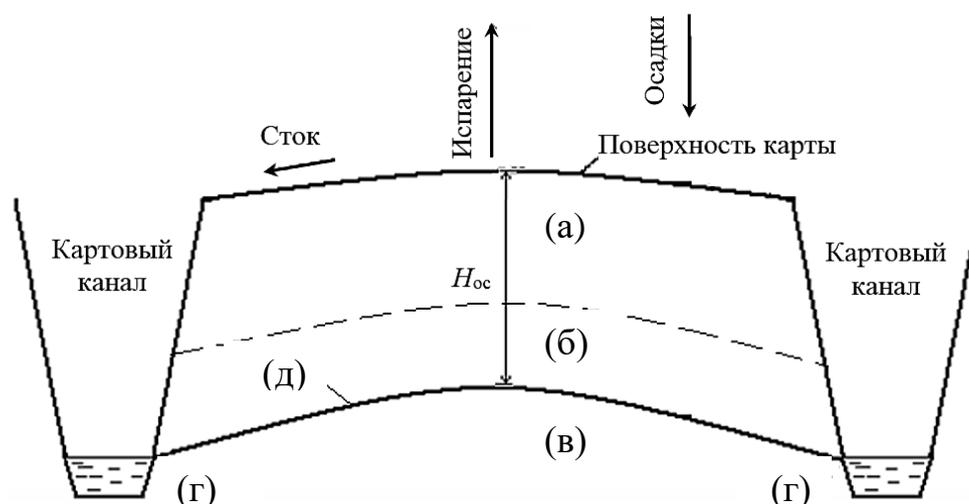


Рис. 3. Разрез карты между двумя каналами: зона аэрации (а); капиллярного поднятия (б); грунтовых вод (в); высачивания (г); поверхность депрессии грунтовых вод (д); $H_{ос}$ – норма осушения

Проведенные гидротехнические мероприятия по осушению производственной площадки торфяной залежи с прокладкой открытой осушительной сети (два валовых канала и девять картовых) позволили частично сбросить избыточную воду и ограничить поступление поверхностных вод с прилегающих территорий (ловчий канал), что дало возможность снизить уровень грунтовых вод и немного уменьшить влажность торфяного расстила. При этом увеличилась несущая способность торфяной залежи, однако недостаточно снизилась влажность верхнего слоя, так как в каналах стояла вода, хотя по нормативам ее быть не должно (поскольку уровень воды в нормально работающих осушителях (например, в картовых каналах) всегда ниже уровня грунтовых вод в залежи). Наличие воды в каналах не позволяло снизить эксплуатационную влажность до нормы, т.е. до 75 %. В связи с этим была разработана дополнительная схема осушения торфяного массива вертикальным дренированием системой скважин. При откачках приток воды к скважинам складывался из двух составляющих: фильтрации воды сверху и притока со стороны по слою песка.

Процесс понижения уровня воды в скважине, первоначально наполненной до уровня грунтовых вод в залежи, происходил следующим образом. В начальный момент вода фильтровалась из скважины в залежь по всей смоченной поверхности, а объем убывшей воды замещался воздухом. Понижение уровня происходило до тех пор, пока не наступало равновесие между поступлением воды в одну часть скважины и истечением из другой ее части. При откачке воды вблизи скважин начала формироваться депрессионная воронка с дополнительными местными понижениями, а осушающее действие вертикальных скважин проявилось при взаимодействии [16, 17] их с осушаемой торфяной залежью. Энергетические состояния массива и скважины различны и характеризовались распределением потенциала влаги в их объемах, что обуславливает необходимость взаимодействия. Принципиальное различие в распределении потенциалов влаги в скважине и залежи состоит в том, что в скважине всегда существует равновесное распределение потенциалов влаги, в то время как в залежи оно всегда неравновесное. Были зафиксированы изменения объема откачанной воды и напора (дебита) за 3 месяца. К третьему месяцу он уменьшился, что показано на рис. 4. Эпюра распределения напоров по вертикали для массива характеризовалась увеличением градиентов напора по мере приближения к подошве залежи. Общая потеря напора при вертикальной фильтрации в залежи во времени увеличивалась. При неизменной глубине уровня грунтовых вод от поверхности это свидетельствовало о снижении коэффициента фильтрации торфа (ввиду его уплотнения) во времени.

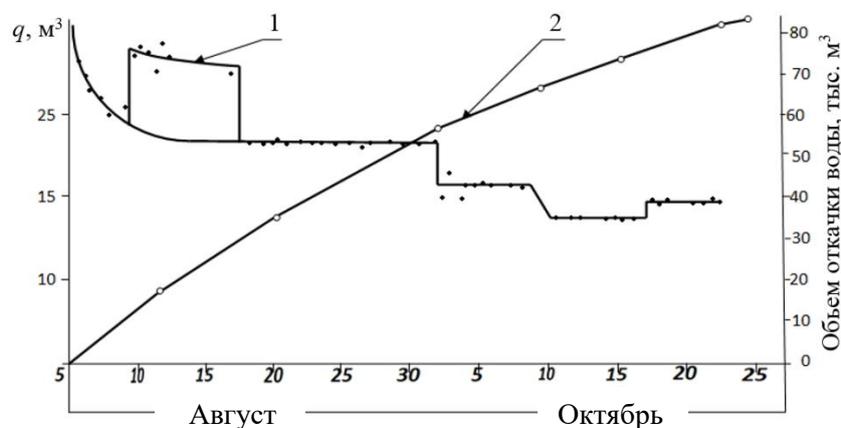


Рис. 4. Поведение скважины в течение сезона:
1 – изменение дебита; 2 – объем откачки

Верхняя часть скважин работала на всасывающем воду режиме; из нижней части происходила инфильтрация воды в залежь. Условием этого взаимодействия выступало отсутствие в объеме скважины сопротивления для движения воды и воздуха в вертикальном направлении, что способствовало увеличению воздухопроницаемости залежи, необходимому для понижения уровня грунтовых вод.

Особенности эпюры напоров для вертикальной фильтрации объясняются характером изменения коэффициента фильтрации в слоях залежи: уменьшением его по мере приближения к подошве залежи, что обусловлено неравномерным и увеличивающимся к низу уплотнением торфов по глубине залежи. При этом в процессе дополнительного осушения имело место неравновесное распределение потенциалов влаги, выраженное в разной степени. С этой целью наряду с потенциалом влаги, который характеризовал физическое состояние воды (отрицательное или положительное давление), использование полного потенциала влаги позволило сравнивать между собой энергетические уровни влаги в различных точках производственной площадки (независимо от их расположения по глубине).

В ходе откачек поверхность залежи получила среднюю осадку 40...60 см. По толщине залежи уплотнение происходило неравномерно; наибольшее (до 50 %) отмечено в самом нижнем слое залежи. Чем выше слой в залежи, исключая зону аэрации, тем меньше степень его уплотнения. Применение вертикального дренирования позволило уменьшить влажность эксплуатационного слоя до величины ниже нормы (73,3 %) (рис. 5).

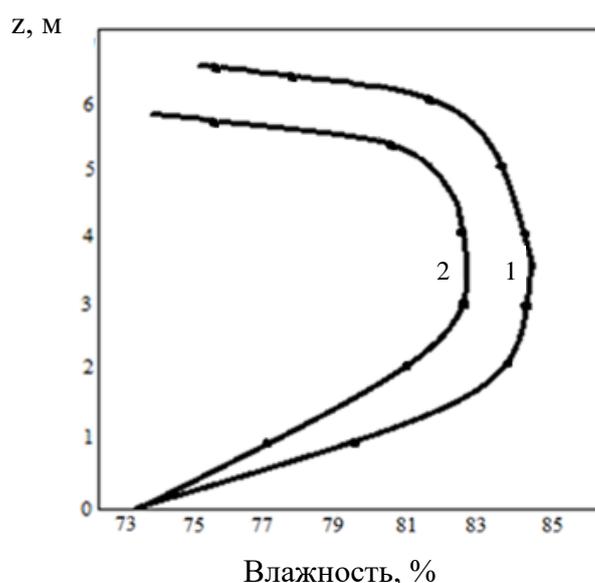


Рис. 5. Изменение влажности при дополнительном осушении:
1 – первый сезон; 2 – второй сезон

В залежи происходило горизонтальное движение влаги, но при этом вертикальные градиенты полного потенциала не равны нулю, так как влага имела и вертикальное движение и двигалась от большего потенциала к меньшему, т.е. с учетом направления потока получалось движение сверху вниз. Для точек залежи, расположенных ниже уровня грунтовых вод, движение влаги происходило по направлению к осушителю.

Вертикальная составляющая градиента полного потенциала на близком расстоянии от осушителей имела сравнительно большую величину (при глубоких

осушителях приближающуюся к единице), а при удалении от осушителей величина вертикального градиента уменьшалась, а распределение полных потенциалов приближалось к равновесному. Движение влаги обусловлено различием потенциалов в осушителе и залежи и происходит с малой интенсивностью из-за небольших градиентов потенциала. На участке выше уровня грунтовых вод вертикальное движение влаги направлено вниз, а на участке, расположенном ниже уровня воды в осушителе, движение влаги происходит вверх.

В каком бы положении уровень воды в скважине ни находился, энергетического равновесия между скважиной и залежью достигнуть невозможно. Установление сравнительно устойчивого уровня не означает, что получено энергетическое равновесие, а указывает на динамическое равновесие между поступлением воды в скважину через верхнюю ее зону и расходом ее в нижней зоне.

На обособленной производственной площадке торфяного месторождения «Ильинское» применение вертикального дренирования для дополнительного осушения целесообразно, поскольку вертикальный принудительный дренаж понижает напор в торфяной залежи и обеспечивает отвод стока атмосферных осадков и снижение уровня грунтовых вод с обеспечением влажности эксплуатационного слоя ниже нормы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

1. В процессе принудительного осушения вертикальными скважинами в начальный момент вода фильтровалась из скважин в залежь по всей смоченной поверхности, а объем убывшей воды замещался воздухом. Уровень снижался до тех пор, пока не наступало равновесие между поступлением и истечением из скважины воды и пока вблизи скважин не сформировалась депрессионная воронка с дополнительными местными понижениями. Обезвоживающее действие вертикальных скважин проявилось при взаимодействии их с осушаемой торфяной залежью. Распределение напоров по вертикали в массиве характеризовалось увеличением градиентов напора по мере приближения к подошве залежи. Общая потеря напора при вертикальной фильтрации в залежи во времени увеличивалась, что свидетельствовало о неизменной глубине уровня грунтовых вод от поверхности и снижении коэффициента фильтрации торфа из-за уплотнения последнего в течение трех месяцев.

2. Вертикальная скважина не находилась в энергетическом равновесии с осушаемой залежью. Взаимодействие скважины и залежи приводило к установлению уровня воды более низкого, чем уровень грунтовых вод. Верхняя часть скважины работала на всасывающем воду режиме; из нижней части происходила инфильтрация воды в залежь. При этом в объеме скважины отсутствовало сопротивление для движения воды и воздуха в вертикальном направлении. Увеличение воздухопроницаемости залежи являлось необходимым условием для понижения уровня грунтовых вод.

3. Использование вертикального дренирования позволило снизить влажность эксплуатационного слоя ниже нормы (до 73,3 %). По толщине залежи уплотнение происходило неравномерно; наибольшее уплотнение до 50 % отмечено в самом нижнем слое. Распределение потенциалов влаги во всем объеме осушаемой залежи являлось неравновесным и зависело от расстояния до осушителей, от фильтрационных свойств торфа и других факторов.

Таким образом, целесообразно использование принудительного вертикального дренажа для подготовки производственной площадки с целью дополнительного осушения и создания благоприятных условий полевой сушки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панов В.В., Мисников О.С., Купорова А.В. Проблемы и перспективы развития торфяного производства в Российской Федерации // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2017. № 5. С. 105–117.
2. Singh K. Allocation and Sustainable Management of Peat Resources on Public Land // *AEP Public Land Management*. 2016. № 9. P. 1–14.
3. Панов В.В., Мисников О.С. Тенденции развития торфяной отрасли России // *Горный журнал*. 2015. № 7. С. 108–112.
4. Яблонев А.Л., Пухова О.В. Современные направления использования торфа // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2010. № 17. С. 104–107.
5. Мисников О.С., Тимофеев А.Е., Михайлов А.А. Анализ технологий разработки торфяных месторождений в странах дальнего и ближнего зарубежья // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2011. № 9. С. 84–92.
6. Мисников О.С. Тимофеев А.Е. О рациональном использовании энергетических и минеральных ресурсов торфяных месторождений // *Горный журнал*. 2008. № 11. С. 59–63.
7. Болтушкин А.Н., Пухова О.В., Тимофеев А.Е. Гидротехника: учебное пособие. Тверь: ТвГТУ. 2013. 184 с.
8. Купорова А.В., Ермияш Д.М., Пухова О.В. Направления осушения месторождений в геотехнологиях торфа и сапропеля // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2011. № 11. С. 36–40.
9. Кремчеев Э.А. Обоснование технологических приемов снижения влажности торфяного сырья при экскаваторной добыче // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2014. № 9. С. 31–35.
10. Пухова О.В. Оценка влияния технологических параметров на полевую сушку торфяного слоя при его добыче // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2023. № 3 (19). С. 53–61.
11. Misnikov O., Yablonev A., Kuporova A. Theories of Peat Systems Structure Formation and Prospects for their Practical Use in the Production of Molded Fuel // *AIP Conference Proceedings. AIP Publishing*. 2023. V. 2526. № 1. P. 040003.
12. Yablonev A., Misnikow O., Goryachev V., Nekrasova A. Improving the Reliability of the Scraper-bunker Peat Harvester // *E3S web of conferences. The Second Interregional Conference*. Kemerovo. 2021. P. 01019.
13. Яблонев А.Л., Гусева А.М. Экспериментальное обоснование рациональных режимов производства кускового торфа // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2019. № 2. С. 163–171.
14. Мисников О.С., Пухова О.В., Черткова Е.Ю. Физико-химические основы торфяного производства: учебное пособие. Тверь: ТвГТУ. 2015. 160 с.
15. Женихов К.Ю., Кузовлев В.В., Женихов Ю.Н., Шлеттерер М. Исследование взаимосвязей показателей поверхностных вод на заболоченных водосборах (на примере реки Тудовки Тверской области) // *Проблемы региональной экологии*. 2019. № 3. С. 68–76.
16. Корчунов С.С., Могилевский И.И., Абакумов О.Н., Дулькина М.С. Изучение водного режима осушенных торфяных залежей // *Труды ВНИИТП*. 1960. Вып. 17. 103 с.
17. Чураев Н.В. Механизм переноса влаги в капиллярно-пористых телах // *ДАН СССР*. 1963. Т. 148. № 6. С. 1361–1364.

Для цитирования: Пухова О.В. Применение вертикального дренажа для подготовки производственной площадки торфяного участка // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2024. № 1 (21). С. 60–68.

APPLICATION OF VERTICAL DRAINAGE FOR PREPARATION OF A PEAT SITE PRODUCTION SITE

O.V. PUKHOVA, Cand. Sc.

Tver State Technical University
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, e-mail: owpuhova@mail.ru

The questions about the possibility of using vertical forced cluster drainage for additional drainage of a heavily watered production site on the peat area of the ephthrophic type are considered. The least negative impact of drainage on the natural environment, in particular on the regime of adjacent water bodies, during the development of the peat deposit "Ильинское" is revealed. The influence of additional forced drainage (depending on precipitation and volume of pumped water) on indicators of groundwater level changes in wells and canals was studied. The interaction of vertical wells with peat deposit in the process of additional forced drainage at the control site during the season was analysed. It is established that for vertical filtration the peculiarities of the head ephyre depend on the changes of the filtration coefficient in the layers of the deposit. It was revealed that continuous pumping of water from vertical wells led to the formation of a depression funnel with local additional depressions near the wells. The efficiency of using vertical drainage was confirmed when the moisture content of the production layer is lower than normal (up to 73.3 %). It was noted that the deposit thickened unevenly, and the distribution of moisture potentials was non-equilibrium and depended on the distance to the dryers, as well as on the filtration properties of peat and other factors.

Keywords: peat, peat deposit, drainage, vertical drainage, hydrological regime, groundwater level, pressure, filtration coefficient, well debit, vertical filtration.

Поступила в редакцию/received: 30.11.2023; после рецензирования/ revised: 07.12.2023;
принята/accepted: 11.12.2023