

МЕЛИОРАЦИЯ

УДК 626.86:631.442

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАСЫПОК ДРЕНАЖНЫХ ТРАНШЕЙ И КОЛОНОК-ПОГЛОТИТЕЛЕЙ В СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВОГРУНТАХ

Э. Н. Шкутов, кандидат технических наук

Ж. Е. Карпович, инженер

Т. И. Русак, старший научный сотрудник

В. П. Иванов, кандидат технических наук

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Рассматриваются вопросы выбора наиболее функционального и экономически эффективного материала для хорошо фильтрующих засыпок дренажных траншей и колонок-поглотителей, а также связи конструкций и материалов, применяемых для строительства фильтрующих элементов дренажа, с предполагаемыми мероприятиями по долговременному поддержанию высокой проницаемости дренируемого слоя набухающих слабопроницаемых суглинистых почвогрунтов.

Ключевые слова: *фильтрующие засыпки, дренаж, водопоглощающие колонки, слабопроницаемые суглинистые грунты.*

Abstract

E. N. Shkutov, Zh. E. Karpovich, T. I. Rusak, V. P. Ivanov
ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF FILTER MATERIALS FOR FILLING DRAINAGE TRENCHES AND ABSORBER COLUMNS IN LOAM SOILS

The issues of choosing the most functional and cost-effective material for well-filtering backfills of drainage trenches and water absorbent columns are considered, as well as the connection between the structures and materials used for the construction of drainage filter elements with the proposed measures for long-term maintenance of high permeability of the drained layer of swelling low permeable loamy soils.

Keywords: *filter backfills, drainage, water absorbent columns, low permeable loamy soils.*

Введение

В настоящее время наиболее эффективной конструкцией дренажных систем на слабопроницаемых суглинистых почвогрунтах признаны системы с применением дрен-собираателей, обеспечивающих сбор и перевод поверхностного стока в дренажные линии с помощью колодцев-поглотителей, фильтрующих колонок и различных засыпок дренажных траншей.

Чаще всего в Беларуси для фильтрующих засыпок закрытого дренажа применяются песчано-гравийные смеси (далее – ПГС). Это доступный и долговечный материал, при соответствующем выборе обеспечивающий требуемые долговечность и водоприемную способность дренажа в слабопроницаемых почвогрунтах. Однако среди исследователей

отсутствует единство по ряду практических вопросов применения ПГС, что отражено в публикациях и нормативах (рекомендациях). На наш взгляд, расхождения обусловлены, помимо результатов и специфики гидравлических исследований, экономической мотивацией при принятии решений.

Цель данной статьи – обсуждение результатов исследований по названным вопросам в целях выработки наиболее эффективных – с учетом функциональных и экономических критериев – проектных решений для современных нормативов, актуальных при строительстве, реконструкции и ремонтных работах на дренажных системах в условиях слабопроницаемых суглинистых почвогрунтов.

Результаты исследований и их обсуждение

В мелиоративном строительстве в качестве засыпок применяется широкий круг материалов, и ПГС не единственный материал, выступающий в этой функции. Например, в Великобритании используют промытую морскую гальку диаметром 20–30 мм, которая обеспечивает практически свободное течение воды по крупным порам без формирования уровня грунтовых вод (с помощью такой засыпки выполнено 90 % всего построенного дренажа); в Финляндии – естественные песчано-гравийные смеси. Повсеместно осуществляется присыпка трубчатого дренажа гравием на 0,2–0,3 м, далее до поверхности засыпается пахотным слоем [1].

В конструкциях применяемых колонок-поглотителей также наблюдаются региональные отличия по используемым фильтрующим материалам: например, в Беларуси распространены колонки-поглотители, засыпаемые гравием до поверхности, а в понижениях – дрены-собиратели, в Шотландии в качестве засыпки служит шлак от электростанций (крупность частиц 20–40 мм), в Дании – опилки хвойных деревьев (в этой стране конструкции эксплуатируются не менее 15–20 лет), во Франции используют засыпку из специально подготовленных почвогрунтов, обработанных структурирующими синтетическими полимерами, в Германии – гравий без камней, несортированный песок с гравием [1].

В качестве объемных фильтров (в простейшем случае – присыпка дренажных труб) могут применяться отходы текстильного производства, нетканые синтетические материалы, кокосовые волокна, волокнистый торф, ржаная солома и т. д. [2].

По мнению В. Б. Шаулиса [3], для практики наиболее перспективны, судя по результатам испытаний, следующие виды материалов: суглинистый грунт, перемешанный с известью (0,3 % от массы грунта); суглинистый грунт, перемешанный с соломой (0,6 % от массы грунта); суглинистый грунт, перемешанный с древесной щепой (3,6 % от массы грунта); песчано-гравийная поглотительная колонка; щебеночная поглотительная колонка; торфяная поглотительная колонка (из слаборазложившегося волокнистого торфа); фашинно-соломенная поглотительная колонка.

В Институте мелиорации также проводились исследования эффективности примене-

ния смеси грунта с негашеной известью [4]. По результатам НИР данную смесь можно отнести к хорошо проницаемой засыпке, эффективно работающей около 3 лет, но затем эффект пропадает. Данные В. Б. Шаулиса подтверждают указанный срок действия таких конструкций [3]. Все остальные смеси грунта с органикой, названные в [1], также не отличаются долголетием, они разлагаются неприемлемо быстро – гораздо быстрее окончания срока службы дренажа.

Обобщение материалов исследований, приведенных в [3], и их дополнительная обработка позволили получить параметры приточности воды к дренам в зависимости от обеспеченности осадками осеннего периода года, предшествовавшего году измерения приточности, – то есть зависимости приточности воды от степени увлажненности почвогрунтов на длительном временном интервале.

Результаты анализа данных В. Б. Шаулиса показаны в виде диаграммы (рис. 1). На ней представлены установленные зависимости весенней удельной приточности воды к дренам (имеющим различную траншейную засыпку) и поглотительным колонкам (уложенным в грунты тяжелого механического состава) от обеспеченности осенних осадков года, предшествовавшего году измерения приточности. Согласно рисунку, начиная от 30%-й обеспеченности, графики зависимости линейны, что, очевидно, связано с началом значимого влияния на водопроницаемость набухания глинистых частиц.

Итоги обработки данных свидетельствуют, что наилучшей проницаемостью обладает фашинно-соломенная поглотительная колонка. Однако, судя по ее опытной производственной эксплуатации, у нее слишком короткий срок службы, поэтому она не рекомендуется к широкому внедрению. Чтобы массово применять данный вид колонок, желательно продлить срок их службы как можно ближе к сроку службы дренажа, иначе в процессе функционирования дренажной системы придется несколько раз проводить ремонты путем раскопки дренажа и закладывать свежий фильтрующий материал.

Примеры широкого производственного применения таких технологий с периодическим переустройством фильтрующих засыпок либо водопоглощающих сооружений на дренаже нам неизвестны.

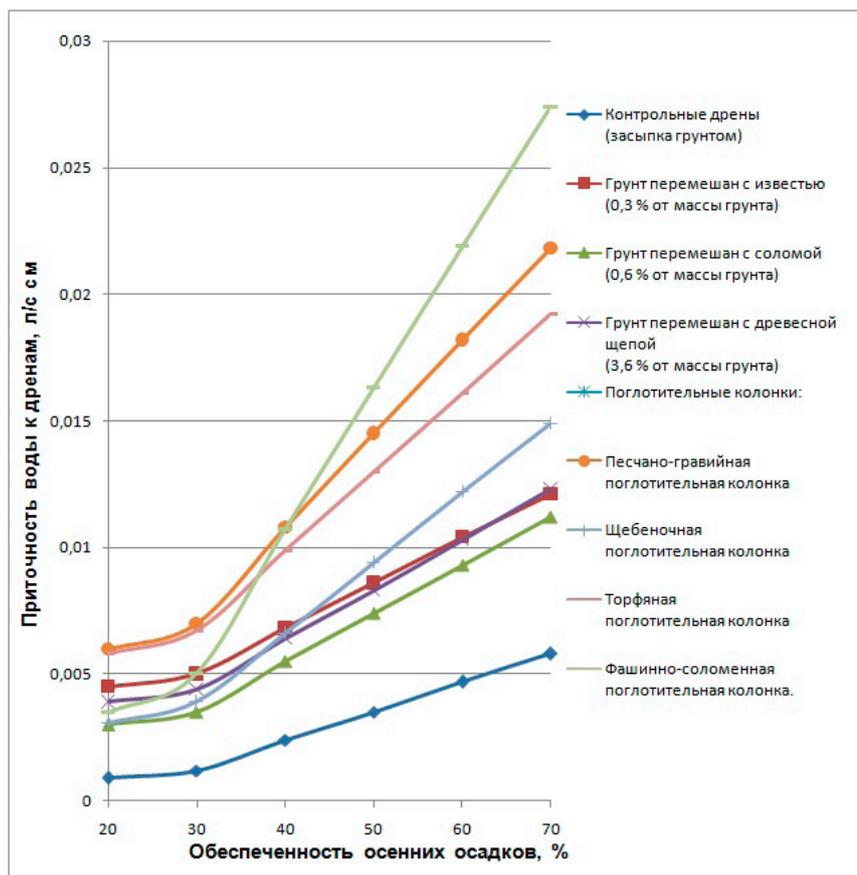


Рис. 1. Влияние обеспеченности осенних осадков на удельную приточность воды к дренам и поглотительным колонкам

Вероятно, из перечня материалов, представленного на рис. 1, ПГС – лучший материал, наиболее пригодный по совокупности свойств для формирования тела поглотительной колонки, а также для широкого применения.

В ходе опытов, проведенных авторами статьи, и обзора литературы по обсуждаемой теме [5, 6] также получены данные о наличии зависимости интенсивности водоприема колонок-поглотителей от проницаемости засыпки – во всяком случае, в пределах испытанных показателей водопроницаемости материала (5–15 м/сут.). Соответственно, вполне обоснованным можно считать утверждение, что коэффициент фильтрации засыпки оказывает заметное влияние на водоприемную способность дренажных систем. Поэтому вполне целесообразна и рекомендация использовать фильтрующие засыпки с максимально большим коэффициентом фильтрации – в пределах вариаций коэффициента фильтрации коммерчески доступной ПГС и требований защиты от кольматажа засыпки места строительства суглинистыми грунтами.

Однако высказываются мнения о нецелесообразности применения ПГС с высокими коэф-

фициентами фильтрации [7, 8]. Проведенный авторами анализ результатов специальных исследований [4], а также многочисленные наблюдения за условиями работы фильтрующих засыпок и сопутствующими условиями строительства приводят к мысли о том, что расхождения в выводах исследователей [7, 8] связаны с использованием ими в опытах – в качестве присыпок дренажа почвы – пахотного слоя с малой проницаемостью (определяющего водный приток к засыпке). Действительно, даже самая высокая проницаемость фильтрующей засыпки дренажа не может обеспечить более сильный поток воды, чем тот, что прошел через верхний пахотный слой либо присыпку дренажной трубы. Поэтому при обработке опытных данных возникает предположение, будто бы проницаемость фильтрующей засыпки не влияет на водоприемную способность дренажа, что, по нашим данным, представляется ошибочным выводом: это подтверждается применением засыпки до поверхности почвы или колонок-поглотителей специальной конструкции (с расширенным верхом засыпки на поверхности) (рис. 2) [4].

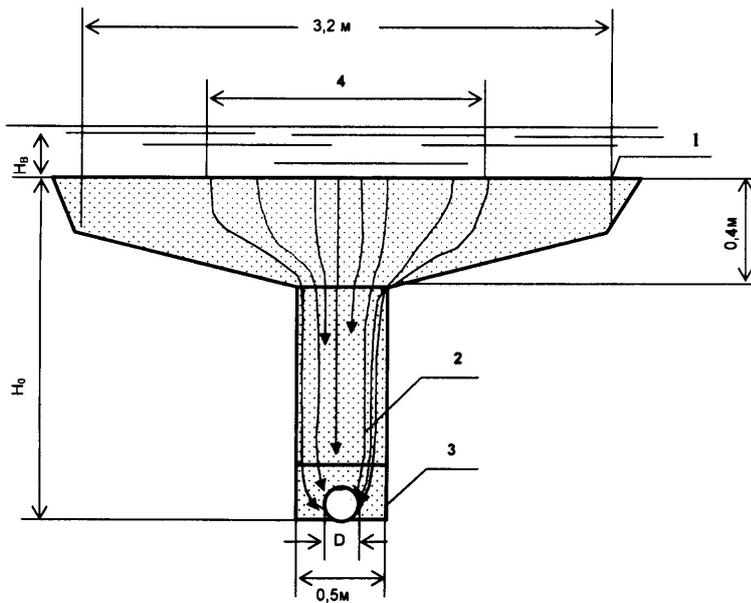


Рис. 2. Принципиальная схема колонки-поглотителя КПФ-1:

- 1 – верхний элемент (ПГС);
- 2 – средний элемент (ПГС);
- 3 – нижний элемент (ПГС);
- 4 – рабочая зона фильтрации (охватывает 95 % фильтрационного потока, поступающего из верхнего элемента)

Помимо существенного улучшения водопринимной способности вариантов с выводом фильтрующих засыпок на поверхность земли, этот вид конструкции колонки-поглотителя решает проблему и с эффектом перемешивания верхнего слоя фильтрующего материала колонок-поглотителей с местной почвой пахотного слоя при почвообработках. В ходе производственных опытов фильтрующие засыпки дренажных траншей, выведенные на поверхность, за нескольких циклов почвообработок снижали коэффициент фильтрации пахотного слоя до уровня проницаемости местного пахотного горизонта (обычно слабопроницаемого). Тем самым аннулируется эффект повышенного водоприема и дополнительных затрат на засыпку дренажных траншей привозным материалом до поверхности.

РУП «Институт мелиорации» уже более 16 лет продолжает длительный опыт, в котором на колонке-поглотителе КПФ-1 (рис. 2) периодически определяются коэффициенты фильтрации верхнего слоя ее засыпки. До сих пор все еще изучается область около $0,9 \times 0,9$ м (исходный размер $3,0 \times 3,0$ м) с исходным коэффициентом фильтрации ПГС. Колонка продолжает работу с приемлемым уровнем водоприема.

Рекомендации, разработанные в лаборатории совершенствования мелиоративных систем РУП «Института мелиорации», основываются еще на одном мощном факторе, повы-

шающем водопроницаемость пахотного слоя, который, по нашему мнению, должен обеспечивать долговременное поддержание повышенной проницаемости даже водопроницаемого материала засыпки, перемешанного с местным грунтом. Обязательное требование эксплуатационного обслуживания дренажа в суглинистых грунтах заключается в периодически, через каждые 3 года, повторяемом глубококом рыхлении ($0,6$ м).

Таким образом, с учетом вышеприведенных условий можно считать, что в производственных условиях проницаемость фильтрующей засыпки дренажа (в пределах значений, встречающихся в карьерах Беларуси) влияет на его водоприимную способность, поэтому целесообразно применять ПГС с наибольшим из доступных коэффициентов фильтрации. Однако более высокая водопроницаемость связана с большей крупностью составляющих ПГС. Резонен вопрос: насколько больше будет стоить использование ПГС с большим коэффициентом фильтрации?

В ходе исследований была проведена оценка стоимости* применения для засыпок ПГС различных крупностей (таблица). Анализ стоимости коммерчески доступных в рамках Беларуси материалов засыпки в виде песка различной крупности показал небольшую разницу в стоимости ПГС различной водопроницаемости (функции крупности): всего около 2 руб/м³.

*Сравнение стоимостей различных фракций песка проводилось в пределах одного карьера, чтобы исключить региональные отличия. Ориентировочно диапазон изменения коэффициента фильтрации составляет 5 – 15 м/сут.

Таблица. Стоимость материалов, пригодных для фильтрующих засыпок дренажа в слабопроницаемых почвогрунтах

Источник/исполнитель	Наименование засыпки	Цена засыпки, руб/ м ³	Автомобиль, грузоподъемность	Расстояние, км	Стоимость ПГС в автомобиле, руб	Платная дорога, руб	Стоимость одного рейса, руб	Ориентировочная стоимость, руб/км
ОАО «Нерудпром»* (далее – «Нерудпром») (Минский р-н)	Щебень, фр. 20–80 мм	17,39	20 т (13 м ³)	115	588	42	856	7,44
Мобильно-сортировочная установка «Клыповщина»* (Держинский р-н)	Песок для строит. работ 2-го класса	11,45	20 т (13 м ³)	115	588	42	779	6,76
«Нерудпром», карьер Веснянка* (Логойский р-н)	Песок для строит. работ 1-го класса	13,1	20 т (13 м ³)	115	588	42	800	7,0
«Нерудпром», карьер Веснянка* (Логойский р-н)	Песок для строит. работ 2-го класса	11,45	20 т (13 м ³)	115	588	42	779	6,76
ДРСУ № 192** г. Березино (Минский р-н)	ПГС С-2 до 30 % гравия, фр. 5–20	75,6	20 т (13 м ³)	20	588	42	983	49,14
ДРСУ № 131** г. п. Шарковщина (Витебская обл.)	Песок 2-го класса Песок природный ПГС С-2	29,71 27,37 27,53	20 т (13 м ³)	20	128	–	514 483 486	25,7 24,18 24,28
ДРСУ № 181 г. Орши (Витебская обл.)	Песок карьерный, ПГС	4,86 (без предоставления транспорта)	–	–	–	–	–	–
ДРСУ № 142*** г. Браслава (Витебская обл.)	Песок карьерный, ПГС	85,02 руб./ 20 т или 6,80/ 1 м ³	20 т (12,5 м ³)	85	641	–	726	8,54
ДРСУ № 120 г. п. Вороново*** (Гродненская обл.)	ПГС С-2 от 5 до 20 % гравия, фр. 5–20 (сертифицирована)	8,03	20 т (12,5 м ³)	33	–	–	484	14,65

Пр и м е ч а н и е.

*Расчет проводился для мелиоративного объекта «Жорновка» (ОАО «Уша» Березинского р-на Витебской обл.);

** – информация по данным объектам и названным критериям отсутствует;

*** – расчет проводился для мелиоративного объекта «Гвардия» (ОАО «Агровидзы» Браславского р-на Витебской обл.).

Оказалось, что месторасположение материала гораздо сильнее влияет на его стоимость, чем размер (крупность). Приобретение песка в окрестностях Минска обойдется примерно на 10 руб/м³ дешевле, чем в районах Витебской обл. (Шарковщинский р-н), но на 5 руб/м³ дороже, чем в Оршанском и Браславском районах, или в Гродненской обл. (Воронковский р-н). На основании приведенных данных можно хотя бы в первом приближении оценить стоимость потенциального дополнительного водоотведения при помощи фильтрующей засыпки (если удастся обеспечить такой поток влаги через пахотный слой).

При укрупненной оценке рассматривались как вариант применения сплошной засыпки дренажных траншей (протяженностью около 125 м/га) до пахотного горизонта (со средней глубиной дренажной траншеи 75 и 100 см), так и вариант применения фильтрующих колонок-поглотителей с расширенным верхом (3 × 3 м на поверхности).

Результаты расчетов показывают, что в сравнении с вариантом обычного дренажа прирост стоимости (в ценах 2022 г.) устройства сплошной засыпкой дренажной траншеи ПГС до подошвы пахотного горизонта и доставкой ее на объекты (принимали в среднем 115 км) составляет в зависимости от месторасположения карьера 105,2–642,6 руб/га (глубина закладки дренажа 75 см) и 163,6–999,7 руб/га (глубина закладки 100 см).

В варианте с применением фильтрующих колонок-поглотителей с расширенным верхом дополнительная стоимость ПГС и ее доставки на объект составит около 1542 руб/га.

Таким образом, стоимость дренажа с засыпками возрастет на 20 %, причем 82–98 % удорожания придется на транспортные расходы за доставку ПГС на объекты.

Значительная стоимость доставки ПГС от карьеров к месту строительства дренажа на

слабопроницаемых суглинистых грунтах делает актуальным и экономически мотивированным вопрос поиска хорошо проницаемых местных материалов для фильтрующих засыпок и колонок-поглотителей.

Как уже отмечалось выше, варианты с органическими компонентами имеют слишком короткий срок службы и потому мало пригодны для практического применения. Но это утверждение не относится к вариантам использования торфяного наполнения колонок-поглотителей или засыпки траншей дренажа тем же материалом: срок его службы, по нашим данным, соизмерим со сроком службы дренажной системы.

Правда, в ряде публикаций [9–11], описывающих экспериментальные исследования о применении торфа в качестве хорошо фильтрующего материала, утверждается, что со временем торф уплотняется и резко уменьшает свою водопроницаемость до неприемлемых значений, поэтому он не годится для водопроницаемой засыпки. Однако подчеркнем: на наш взгляд, требуются дополнительные исследования данного вопроса, поскольку предлагаемая технология эксплуатации дренажа на суглинках предполагает периодическое, через каждые 3 года, глубокое рыхление слоя над дренами. Взрыхленный слой торфа должен восстанавливать свою водопроницаемость и обеспечивать в очередные несколько лет требуемый уровень водоприемной способности дренажа.

Если эта рабочая гипотеза получит экспериментальное подтверждение, то соответствующая набору определенных критериев торфяная засыпка из региональных заторфованных понижений вполне может оказаться наиболее приемлемым вариантом местного торфяного материала, применение которого снизит стоимость строительства работоспособного дренажа в суглинистых почвогрунтах на 15 %.

Выводы

1. Использование материалов из ПГС для устройства хорошо фильтрующих засыпок дрен-собирающих, закладываемых в слабопроницаемые суглинистые почвогрунты, или строительство колонок-поглотителей, служащих для увеличения водоприемной способности дренажа, потребуют увеличения сто-

имости строительства дренажа минимум на 10–20 %, причем 82–98 % удорожания придется на транспортные расходы и доставку ПГС к месту укладки.

2. Значительная стоимость доставки ПГС от карьеров к месту строительства дренажа на слабопроницаемых суглинистых грунтах дела-

ет актуальным и экономически мотивированным вопрос поиска местных материалов для фильтрующих засыпок дренажных траншей и колонок-поглотителей.

3. Применение специально подобранного вида и состояния торфа в качестве фильтру-

ющий засыпки могло бы снизить стоимость дренажа из дрен-собираателей на слабопроницаемых суглинках на 15 % по сравнению с использованием привозной ПГС, но для обоснования этого предложения потребуются дополнительные исследования.

Библиографический список

1. Бойко, С. И. Современная оценка приемов мелиорации переувлажняемых слабопроницаемых почв (зарубежный опыт) / С. И. Бойко. – Москва : ВНИИТЭИагропром, 1991. – 135 с.

2. Эггельсманн, Р. Руководство по дренажу / Р. Эггельсманн ; пер. с нем. В. Н. Горинского под ред. Ф. Р. Зайдельмана. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос, 1984. – 247 с.

3. Шаулис, В. Б. Способы отвода поверхностных вод с дренированных земель (на примере Литовской ССР) : дис. ... канд. техн. наук / В. Б. Шаулис. – Кедайнай, 1987. – 182 л.

4. Макоед, В. М. Гидравлические и фильтрационные исследования усовершенствованных колонок-поглотителей и их элементов / В. М. Макоед, Г. В. Хмелевская // Мелиорация переувлажненных земель. – 2007. – № 2 (58). – С. 58–68.

5. Шкиннис, Ц. Н. Проблемы гидрологии дренажа / Ц. Н. Шкиннис. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1974. – 346 с.

6. Физическое моделирование работы перспективных конструкций дренажа в слабопроницаемых суглинках / Э. Н. Шкутов, В. П. Иванов, Т. И. Русак, Д. В. Лодыга // Мелиорация. – 2018. – № 1 (83). – С. 14–23.

7. Зайдельман, Ф. Р. Особенности режима и мелиорации заболоченных почв / Ф. Р. Зайдельман. – Москва : Колос, 1969. – 223 с.

8. Климко, А. И. Особенности действия закрытого дренажа на минеральных землях в условиях континентального климата / А. И. Климко // Вопр. двустороннего регулирования водного режима почв. – Вильнюс : Газетно-журнальное изд-во, 1966. – С. 39–48.

9. Печкуров, А. Ф. Изменение коэффициента фильтрации при уплотнении торфа / А. Ф. Печкуров // Вопр. эксплуатации осушительно-увлажнительных систем : сб. науч. работ БелНИИМивХ ; редкол.: В. Ф. Карловский (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БелНИИМивХ, 1983. – С. 10–45.

10. Лундин, К. П. Зависимость водопроницаемости торфа от его плотности / К. П. Лундин // Тр. БелНИИ мелиорации и вод. хоз-ва. – Минск, 1962. – Т. X. – С. 134–166.

11. Винокуров, Ф. П. Строительные свойства торфяных грунтов / Ф. П. Винокуров, А. Е. Теркин, М. А. Питерман. – Минск : АН БССР, 1962. – 284 с.

Поступила 28 мая 2024 г.