

Научная статья

Original article

УДК 626.86:631.615

DOI 10.55186/25876740_2023_7_6_4

**ПОДХОДЫ К РАСЧЁТУ ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ ПРИ ОСУШЕНИИ
ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

**APPROACHES TO THE CALCULATION OF DRAINAGE SYSTEMS IN THE
DRAINAGE OF PEAT SOILS OF WESTERN SIBERIA**



Новохатин Василий Васильевич, профессор, д.т.н, Уральский Государственный университет путей сообщения, г. Тюмень.

Novokhatin Vasily Vasilievich, professor, doctor of technical sciences, Ural State University of Transport, Tyumen.

Аннотация

Исследование имеет научно-методический характер, охватывает одну из проблем при проектировании дренажа на торфяниках Западной Сибири - проблему прогнозирования и учёт изменения свойств верхних горизонтов торфяной залежи, обусловленных наличием длительно-мерзлотных явлений. В данном случае работа посвящена анализу существующих методов определения одного из ключевых параметров дренажа, как междреннее расстояние.

Конечной целью исследований является повышение точности и надёжности существующих методов расчёта за счёт дополнительного охвата

факторов, связанных с изменениями водно-физических свойств мёрзлых горизонтов, длительностью их существования. Специфические особенности мёрзлых торфов создают для проектировщиков проблему непригодности некоторых методов определения расстояния между регулирующими элементами мелиоративных систем.

При проектировании осушительных систем нашли применение три основных метода определения расстояний между дренами: эмпирический, технико-экономический и гидромеханический. Каждый из методов имеет как достоинства, так и недостатки при расчёте дренажа на осушаемых торфяниках. Определение расстояний между дренами по теоретическим формулам в некоторых случаях дает значительные расхождения с опытными данными, полученными в полевых условиях или путем математического моделирования. Это связано с гидродинамическими условиями движения воды к дрене в условиях наличия длительно-мерзлотных явлений, которые существенно отличаются от стандартных условий, применяемых авторами при разработке формул.

В основной содержательной части работы приводится анализ методов расчёта и расчётных формул, используемых для определения междренного расстояния на осушаемых торфяниках.

Сопоставляются результаты полевых исследований с теоретическими проработками, приводится конкретный пример расчёта. Предлагаются рекомендации по практическому использованию методов и расчётных формул определения междренного расстояния при осушении торфяных ландшафтов Западной Сибири.

S u m m a r y

The study is of a scientific and methodological nature, covers one of the problems in the design of drainage on the peatlands of Western Siberia - the problem of forecasting and accounting for changes in the properties of the upper horizons of peat deposits caused by the presence of long-term permafrost phenomena. In this case,

the work is devoted to the analysis of existing methods for determining one of the key parameters of drainage, as the wind distance.

The ultimate goal of the research is to increase the accuracy and reliability of existing calculation methods due to additional coverage of factors related to changes in the water-physical properties of frozen horizons, the duration of their existence. The specific features of frozen peat create for designers the problem of the unsuitability of some methods for determining the distance between the regulatory elements of reclamation systems.

When designing drainage systems, three main methods for determining the distances between drains have been used: empirical, technical-economic and hydromechanical. Each of the methods has both advantages and disadvantages when calculating drainage on drained peat bogs. Determination of distances between drains by theoretical formulas in some cases gives significant discrepancies with experimental data obtained in the field or by mathematical modeling. This is due to the hydrodynamic conditions of the movement of water to the drain in the presence of long-term permafrost phenomena, which differ significantly from the standard conditions used by the authors when developing formulas.

The main substantive part of the work provides an analysis of calculation methods and calculation formulas used to determine the wind distance on drained peat bogs.

The results of field research are compared with theoretical studies, and a concrete example of calculation is given. Recommendations on the practical use of methods and calculation formulas for determining the distance between winds during drainage of peat landscapes of Western Siberia are offered.

Ключевые слова: осушение торфяника, параметры дренажа, междреннее расстояние, мёрзлый горизонт, водопроницаемость мёрзлого слоя, норма осушения, фильтрационная расчётная схема, дренаж осушаемого торфяника.

Keywords: *drainage of the peat bog, drainage parameters, wind distance, frozen horizon, permeation of the frozen layer, drainage rate, filtration design scheme, drainage of the drained peat bog.*

Отечественными и зарубежными учеными проведены большие экспериментальные и теоретические исследования по разработке методов расчета горизонтального дренажа, которые позволяют количественно учитывать влияние различных факторов на действие регулирующих элементов. Основу расчёта гидротехнических сооружений составляют гидрологические расчёты.

Целью наших исследований является анализ существующих методов определения параметров регулирующих элементов осушительных систем применительно к условиям Западной Сибири с позиций их эколого-мелиоративного освоения.

Экспериментальная часть.

Нами рассматривались методы расчёта параметров дренажа с учётом гидрологических и геоморфологических условий образования и существования органогенных залежей болотных геосистем Западной Сибири с позиций системного подхода оценки их применимости, что позволяет достоверно оценить их репрезентативность и предложить методы, позволяющие наиболее достоверно проектировать мелиоративные системы, с обязательным учётом экологической безопасности ландшафтов.

Результаты и их обсуждение.

При проектировании осушительных систем нашли применение три основных метода определения расстояний между дренами: эмпирический, технико-экономический и гидромеханический. По эмпирическому методу расстояния между дренами рассчитываются в зависимости от одного или нескольких факторов, влияющих на осушающее действие дренажа. На основании многолетнего практического опыта предложены графики для определения расстояний между дренами (В) в зависимости от

гранулометрического состава почвы (количества частиц физической глины), гигроскопичности, коэффициента фильтрации, глубины заложения дрен. Для учета влияния водопроницаемости почвы и других факторов вводятся поправки. Наряду с определением параметров дренажа по номограммам и графиками имеет место использование эмпирических зависимостей для определения расстояний между дренами.

Технико-экономический метод определения параметров дренажа получил развитие в пятидесятых годах XX века. Для определения расчетных параметров по этому методу необходимо иметь данные по урожайности сельскохозяйственных культур, капиталовложения в строительство мелиоративной сети и затраты на эксплуатацию этой системы. Применение технико-экономического метода при определении расстояний между дренами следует практиковать в сочетании с другими расчетными методами. Недостаточная точность этого метода обусловлена недоучетом целого ряда природных и экономических факторов, существенно влияющих на эффективность осушения. Так, величина урожая, лежащая в основе экономического расчета, зависит от режима грунтовых вод, дренажного стока, влажности почвы, температурного режима, условий агротехники и т.д., в результате чего необходимо иметь данные наблюдений за этими показателями, что не всегда представляется возможным.

Гидромеханический метод определения расстояний между дренами основан на применении теории фильтрации.

На основе положений теории фильтрации получено значительное количество теоретических формул для расчета расстояний между дренами [1,2,6,8]. Наиболее широкое применение при проектировании осушительных систем нашли формулы В.И. Аравина и др., С.Н. Нумерова, М. Маскета, А.Н. Костякова, С.Ф. Аверьянова, В.А. Ионата, В.М. Шестакова, А.Я. Олейника.

Расчет расстояний между дренами по теоретическим формулам в некоторых случаях дает значительные расхождения с опытными данными,

полученными в полевых условиях или путем математического моделирования. Одной из причин этого является сложность определения некоторых параметров расчетных схем и формул, в том числе глубины залегания водоупора, коэффициента фильтрации и др.

Для получения по теоретическим формулам правильных расстояний между дренами необходимо иметь значительное количество данных, которые характеризуют величину коэффициента фильтрации и его изменения во времени и в пространстве. Однако при проектировании мелиоративных систем такие данные обычно отсутствуют. Принятые в расчетных схемах допущения зачастую значительно искажают действительные условия и схемы притока воды к дренам. Даже для простейших гидрогеологических условий при получении решения в виде, пригодном для практического пользования, необходимо вводить некоторые упрощения (например, заменить изогнутую депрессионную кривую прямой линией, слоистость грунта заменить приведенной глубиной и др.), без которых задача становится не решимой.

Основная часть формул получена для условий установившегося режима фильтрации, в реальных условиях имеет место в основном неустановившийся режим. Поэтому применение формул, учитывающих условия установившегося режима для определения расстояний между дренами при неустановившемся режиме фильтрации, может привести к значительным погрешностям. Решение неустановившегося движения потока представляет большой интерес, тем не менее, удовлетворительного общего решения не найдено. Отдельными исследователями предлагаются формулы расчета расстояний между дренами, полученные для условий неустановившегося движения фильтрационного потока, но они не нашли пока широкого применения.

В настоящее время при проектировании мелиоративных систем в основном используются теоретические формулы, основанные на установившемся режиме фильтрации. Расчетные схемы для условий

установившегося и неустановившегося режима фильтрации представлены на рис. 1.

В особо сложных условиях работает дренаж при осушении торфяных почв с грунтово-напорным типом водного питания при наличии длительных мерзлотных явлений. Проектирование мелиоративных систем на болотах грунтово-напорного водного питания связано с определенными трудностями. Одна из них – правильное определение расстояний между дренами, так как при увеличении междренних расстояний от оптимального значения напорные воды могут выклиниваться на поверхность почвы или в зону аэрации. Наличие длительно-мерзлотных слоёв почвы (в некоторые годы до августа месяца) создают условия переувлажнения корнеобитаемого горизонта. Интегральное взаимодействие всех негативных почвенных характеристик вызывает необходимость корректировки методов расчёта параметров дренажных систем.

Гидродинамические условия движения воды к дрене при атмосферном и грунтово-напорном питании существенно отличаются, вследствие этого недопустимо определять расстояния между дренами при грунтово-напорном типе водного питания, используя теоретические зависимости, полученные для условий атмосферного питания. Для расчета параметров дренажа при грунтово-напорном питании широкое применение нашли формулы А.Н. Костякова, С.Ф. Аверьянова, М. Маскета.

Несмотря на имеющиеся сложности и погрешности при определении расстояний между дренами по формулам теории фильтрации, гидромеханический метод является наиболее правильным.

В руководстве по проектированию осушительных систем сельскохозяйственного назначения указывается, что в условиях Нечернозёмной зоны России расстояние между дренами необходимо определять по теоретическим зависимостям и проверять по фактическим опытным данным существующих осушительных систем, построенных в аналогичных природных условиях [7, 10,11]. Слабая изученность вопросов мелиорации в условиях лесной

и подтаёжной подзона Западной Сибири, а также практически полное отсутствие закрытых осушительных систем предопределило выбор гидромеханического метода определения расстояний между дренами. Установление наиболее приемлемой теоретической зависимости для данных климатических условий является весьма актуальным.

Как отмечалось выше, при дренировании переувлажнённых почв Западной Сибири мы встречаемся с наличием длительных сезонно- мерзлотных явлений. В этих условиях наиболее напряженным и ответственным периодом работы дренажа является весенний, а также летний период во время выпадения обильных осадков, когда наблюдаются в основном максимальные модули стока. В это время гидрологическое действие осушительной системы зависит от интенсивности напорного питания, наличия запасов воды в снежном покрове, характера промерзания почвы, её водопроницаемости, интенсивности снеготаяния и атмосферных осадков. Мерзлый слой торфяников вследствие более низких фильтрационных свойств существенно снижает скорость проникновения в нижние горизонты почвы талых вод и атмосферных осадков. Это явление отрицательно сказывается на осушающем действии дренажа, так как даже в условиях грунтового-напорного питания болот инфильтрационные воды болот являются значительной составляющей водного баланса на осушаемой площади. В следствие этого недоучет водопроницаемости мерзлого слоя почв при расчете параметров дренажа может привести к значительным погрешностям. Вышеизложенное предопределяет, что гидродинамическая схема движения воды к дренам в таких условиях, довольно сложная и трудно поддающаяся моделированию.

Как отмечалось выше, при дренировании переувлажнённых почв Западной Сибири мы встречаемся с наличием длительных сезонно- мерзлотных явлений. В этих условиях наиболее напряженным и ответственным периодом работы дренажа является весенний, а также летний период во время выпадения обильных осадков, когда наблюдаются в основном максимальные модули стока.

В это время гидрологическое действие осушительной системы зависит от интенсивности напорного питания, наличия запасов воды в снежном покрове, характера промерзания почвы, её водопроницаемости, интенсивности снеготаяния и атмосферных осадков. Мерзлый слой торфяников вследствие более низких фильтрационных свойств существенно снижает скорость проникновения в нижние горизонты почвы талых вод и атмосферных осадков. Это явление отрицательно сказывается на осушающем действии дренажа, так как даже в условиях грунтового-напорного питания болот инфильтрационные воды болот являются значительной составляющей водного баланса на осушаемой площади. В следствие этого недоучет водопроницаемости мерзлого слоя почв при расчете параметров дренажа может привести к значительным погрешностям. Вышеизложенное предопределяет, что гидродинамическая схема движения воды к дренам в таких условиях, довольно сложная и трудно поддающаяся моделированию.

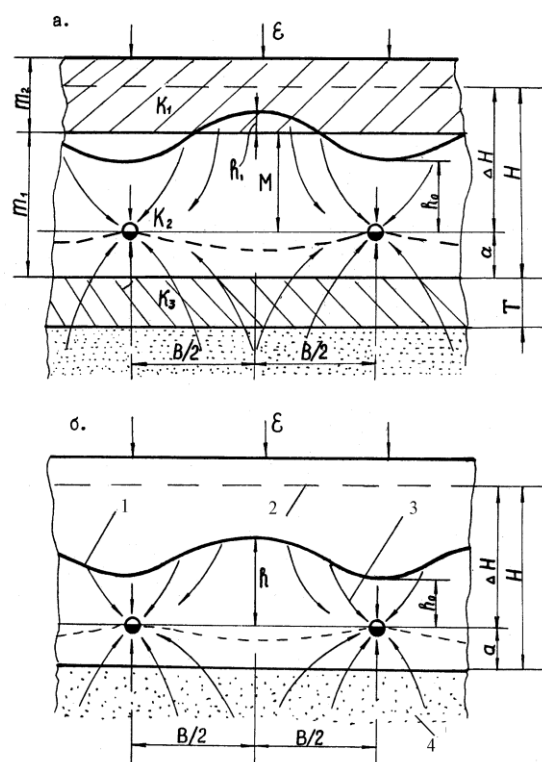


Рис.1 Схемы к расчёту горизонтального дренажа при напорном и инфильтрационном питании: а – при двухслойном грунте; б – в однородном грунте.

где: m_1, m_2 – мощность соответственно первого и второго слоёв почвы; T – мощность разделяющих слабопроницаемых отложений; K_1, K_2, K_3 – коэффициенты фильтрации соответствующих слоёв почвы; h – высота грунтовых вод над дренами; ΔH – высота пьезометрических уровней над дренами; H – высота пьезометрических уровней над разделяющим горизонтом; h_0 – напорование грунтовых вод над дренами; B – расстояние между дренами; ε – инфильтрационное питание; M – слой почвы над дренами с коэффициентом фильтрации K_2 ; α – расстояние от дрена до границы разделяющего горизонта; 1 – уровень грунтовых вод (свободная поверхность); 2 – уровень напорных вод; 3 – линии тока; 4 – водоносный горизонт.

Для установления наиболее приемлемой теоретической формулы расчета дренажных систем применительно к торфяным почвам лесостепной и подтаёжной подзон Западной Сибири, имеющим грунтово–напорный тип водного питания, мы провели анализ существующих зависимостей, полученных в условиях, соответствующих почвенно-гидрологическим условиям экспериментальной системы. В качестве исходных данных при фильтрационных расчетах дренажа нами использовались фактические данные наблюдений за дренажным стоком, напором грунтовых вод, пьезометрическим напором, коэффициентами фильтрации торфяной почвы, водопроницаемостью мерзлого слоя, глубиной залегания водоносного пласта, расстоянием между дренами и глубины их заложения. Расчетная норма осушения для весеннего периода принята равной 0,6–0,8 м. Анализ выбранных теоретических зависимостей осуществлялся применительно к дренажу глубиной 1,5 м с расстояниями между дренами 20 м, как наиболее полно отвечающему требованиям сельскохозяйственных культур.

Расчетная схема для данных почвенно-гидрологических условий представлена на рис.1. При определении расстояний между дренами применялись формулы следующих авторов:

1. С.Ф. Аверьянова при $B/T > 3$:

$$\ln \frac{8T}{\pi d^*} \sim \Delta h \frac{\pi K}{q_{op} \cdot B} + 4e^{-\pi B / 4T}, \quad (1)$$

2. С.Ф. Аверьянова при $B/T \geq 3$ (СниП 2.06.03 – 85):

$$B = \frac{4T}{\pi} \cdot \ln \frac{4}{th[(\Delta H - 1)\pi \cdot K \cdot \Delta h / Q]}, \quad (2)$$

3. А.Н. Костякова:

$$B = \frac{2\pi \Delta h (T + \Delta H)}{(\Delta H - \Delta h) [\ln(B/d) - 1]} \cdot \frac{K_1}{K_2}, \quad (3)$$

4. У.Х. Томберга:

$$B = 1,79 \beta \sqrt{\frac{K}{\alpha - q_{op}} \left(\frac{10^{\alpha \Delta} - 1}{2,3 \cdot \alpha} - \Delta h \cdot 10^{-\alpha T} \right)}, \quad (4)$$

5. З.Б. Киндериса:

$$B = 2 \sqrt{\frac{2(T + \Delta h)}{\Delta H - \Delta h} (\Delta h^2 - h_0^2)}, \quad (5)$$

где: B – расстояние между дренами, м; T – глубина залегания водоносного горизонта, считая от уровня воды в дрене, м; Δh – превышение поверхности грунтовых вод в середине междреннего расстояния над дренами, м; ΔH – превышение поверхности напорных вод в середине междренья над дренами, м; d – диаметр дрены, м; h_0 – ордината депрессионной кривой у дрены, м; K_1 – коэффициент фильтрации почвы, в которую заложены дренаи, м/сут; K_2 – коэффициент фильтрации напорного водоносного пласта, м/сут; K_0 – коэффициент фильтрации почвы на глубине заложения дрена, м/сут; $q_{др}$ – модуль дренажного стока – является суммой модулей инфильтрационного и напорного питания, м³/сут. с 1 м²; α – коэффициент, для хорошо разложившихся торфов $\alpha = 1,0$;

для средне-разложившихся $\alpha = 0,8$; β – поправочный коэффициент, при осушении дренажем, равный:

$$\beta = \sqrt{1.26 - 0.09Q} \cdot \sqrt[3]{\Delta h}, \quad (6)$$

Сопоставление результатов расчёта расстояний между дренами по теоретическим зависимостям с фактическим междренним расстоянием показывает хорошую сходимость результатов, получаемых по формуле 1 и удовлетворительную – по формулам 4 и 5 (табл.1).

Выполненные расчёты показывают, что расстояния между дренами определённые по формуле Аверьянова С.Ф. (1) на +1,5 - +4,0 % больше в сравнении с фактическими параметрами дренажной системы. Формула 2, рекомендованная СНИП 2.06.03 – 85, даёт заниженные результаты на –15,6 – 30,8 %; при определении расстояний между дренами по зависимостям 3 и 4 отклонение составляет – 7,9–21,5 %. Расчёт расстояний между дренами по формуле 5 даёт отклонение от фактических величин в меньшую сторону на – 8,3–17,6 %.

Таблица 1

Результаты вычислений В (м) по разным формулам

Глубина уровня грунтовых вод в междренье, м	Фактическое расстояние ме дренами, м	Расчётные формулы				
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
0,6	20,0	20,3	16,9	15,6	18,4	18,7
0,8	20,0	20,8	13,9	11,9	15,9	16,5

Сопоставление результатов теоретических расчётов с фактическими параметрами мелиоративных систем показывает, что из рассмотренных формул, применяемых для определения расстояний между дренами, наиболее приемлемой является формула (1) С.Ф. Аверьянова, по которой расстояния составили 20,3–20,8 м.

В заключение можно отметить, что при определении параметров гидротехнических систем осушения для условий лесостепной и подтаёжной подзон Западной Сибири, наряду со стандартными исходными

характеристиками болотных ландшафтов используемых при выполнении расчётов, необходимо обязательно учитывать климатический фактор – глубокое длительное промерзание осушаемых торфяных залежей (мёрзлый слой может наблюдаться до конца июля,) водопроницаемость которых в значительной степени оказывает влияние на точность расчёта параметров мелиоративных систем.

Литература

1. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель. – М.: Колос, 1978. 288 с.
2. Ведерников В.В. К теории дренажа. – ДАН СССР. – Т.59, - №6. 1948.
3. Ивицкий А.И. Основы проектирования и расчётов осушительных и осушительно-увлажнительных систем. Мн.: Наука и техника, 1988. 311 с.
4. Ионат В.А. Расчёт горизонтального дренажа в неоднородных грунтах. – Таллин, изд. ЭНИИЗиМ, 1962. 347 с.
5. Новохатин В.В. Эффективность действия гончарного дренажа при осушении торфяных почв Северного Зауралья: Автореф. дис. ...канд. тех. наук. М.: ВНИИГиМ. 1989. 23 с.
6. Олейник О.А. Практические способы расчёта горизонтального и вертикального дренажей в неоднородно-слоистых грунтах // Кн. Мелиорация и водное хозяйство. – 1970. – Вып.13. С. 109-121.
7. Руководство по проектированию осушительных систем сельскохозяйственного назначения ВТР-П-8-76. М.: Союзводпроект, 1976. 139 с.
8. Шестаков В.М. Методические указания по расчётам систематического дренажа в слоистых системах. – М.: Всесоюз. ин-т инженеров гидрогеологии, 1965. 65 с.
9. Шебеко В.Ф. Водохозяйственные расчеты при мелиорации переувлажненных земель. Минск:БелНИИМиЛ, 2000. 312 с.
10. Байдакова Е.В., Дунаев А.И. Методика расчёта дренажа с учётом изменения поддренной части мелиорируемого торфяника, подстилаемого

слабоводопроницаемыми грунтами // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. 2022. №1 (89). С. 46-52.

11. Дунаев А.И. Расчёт междренних расстояний с учётом осадки поддренной толщи мелиорируемого торфяника. // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. 2019. №2. С.71-77.

12. Farr E., Henderson W.C. Land Drainage-London, New York: Longman, 1986. 251 p.

Literatura

1. Aver'yanov S.F. Bor'ba s zasoleniem oroshaemykh zemel'. – М.: Kolos, 1978. 288 s.

2. Vedernikov V.V. K teorii drenazha. – DAN SSSR. – Т.59, - №6. 1948.

3. Ivitskii A.I. Osnovy proektirovaniya i raschetov osushitel'nykh i osushitel'no-uvlazhnitel'nykh sistem. Mn.: Nauka i tekhnika, 1988. 311 s.

4. Ionat V.A. Raschet gorizontal'nogo drenazha v neodnorodnykh gruntakh. – Tallin, izd. EHNIIZIM, 1962. 347 s.

5. Novokhatin V.V. Ehffektivnost' deistviya goncharnogo drenazha pri osushenii torfyanykh pochv Severnogo Zaural'ya: Avtoref. dis. ...kand. tekhn. nauk. М.: VNIIGIM. 1989. 23 s.

6. Oleinik O.A. Prakticheskie sposoby rascheta gorizontal'nogo i vertikal'nogo drenazhei v neodnorodno-sloistykh gruntakh // Kn. Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo. – 1970. – Vyp.13. S. 109-121.

7. Rukovodstvo po proektirovaniyu osushitel'nykh sistem sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya VTR-P-8-76. М.: Soyuzvodproekt, 1976. 139 s.

8. Shestakov V.M. Metodicheskie ukazaniya po raschetam sistematicheskogo drenazha v sloistykh sistemakh. – М.: Vsesoyuz. in-t inzhenerov gidrogeologii, 1965. 65 s.

9. Shebeko V.F. Vodokhozyaistvennye raschety pri melioratsii pereuvlazhennyykh zemel'. Minsk:BeLNIIMIL, 2000. 312 s.

10. Baidakova E.V., Dunaev A.I. Metodika rascheta drenazha s uchetom izmeneniya poddrennoi chasti melioriruemogo torfyanika, podstilaemogo slabovodopronitsaemymi gruntami // Vestnik FGOU VPO Bryanskaya GSKHA. 2022. №1 (89). S. 46-52.

11. Dunaev A.I. Raschet mezhdrennykh rasstoyanii s uchetom osadki poddrennoi tolshchi melioriruemogo torfyanika. // Vestnik FGOU VPO Bryanskaya GSKHA. 2019. №2. S.71-77.

12. Farr E., Henderson W.C. Land Drainage-London, New York: Longman, 1986. 251 p.

© Новохатин В.В. 2023. *International agricultural journal*, 2023, №6, 1964-1978

Для цитирования: Новохатин В.В. Подходы к расчёту дренажных систем при осушении торфяных почв Западной Сибири // *International agricultural journal*. 2023. №6, 1964-1978