

**ДРЕНАЖНЫЙ СТОК,
МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ
Пыленок П.И.**

Мещерский филиал ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Рязань, Россия
e-mail: petr.pylenok@mail.ru

Ключевые слова: дренажный сток, методы определения параметров стока, площадь увлажнения дренажными водами, тип водного питания, гидромелиоративный рециклинг.

В работе анализируются методы определения фактических и расчетных характеристик дренажного стока, который относится к отходам гидромелиоративного производства, содержит ингредиентные загрязнители. Для повышения степени утилизации дренажных вод предлагаются расчетные зависимости для оценки площади увлажнения осушаемых земель дренажными водами. Показана гидрологическая надежность утилизации дренажных вод с применением технологии гидромелиоративного рециклинга, установленная на основе натурных исследований на осушаемых болотах с грунтовым и грунтово-намывным типами водного питания в условиях Мещерской низменности.

**DRAINAGE FLOW: METHODS OF DETERMINATION AND UTILIZATION
TECHNIQUES**

Pylenok P. I.

Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation (VNIIGiM) -
Meshchersky Branch, Ryazan, Russia
e-mail: petr.pylenok@mail.ru

Keywords: drainage, methods for determining the parameters of the flow, the area of moisture drainage water, the type of water supply, irrigation and the recycling.

The paper analyzes the methods for determining the actual and calculated characteristics of the drainage riser, which belongs to the waste of hydro-reclamation production, contains ingredient pollutants. In order to increase the degree of drainage water utilization, calculated dependencies are proposed for estimating the area of drainage water moistening of drained lands. The article shows the hydrological reliability of drainage water utilization with the use of hydro-reclamation recycling technology based on field studies on drained swamps with ground and ground-alluvial types of water supply in the Meshcherskaya lowland.

Дренажный сток является одной из важнейших гидролого-мелиоративных характеристик, используемых при проектировании гидромелиоративных систем и разработке мероприятий по комплексному использованию и охране водных объектов, являющихся водоприемниками осушительных систем или водоисточниками оросительных систем. От правильности определения характеристик дренажного стока (модуль дренажного стока, объем дренажного стока) зависит качество проектирования дренажа, выбор рационального метода увлажнения и площади увлажнения за счет местного стока. Несмотря на многолетние и многочисленные экспериментальные исследования дренажного стока в России и других странах, из-за сложности и многофакторности условий его формирования, единые рекомендации пока отсутствуют. Для определения фактических и расчетных параметров дренажного тока используются разные методы, раскрытые в литературе [1, 3, 4–8, 10–15 и др.]. Недостаточно изученными остаются вопросы утилизации дренажных вод.

Материалы и методы. Методической основой исследовательских работ является применение водного баланса как инструмента количественной оценки дренажного стока, системный анализ и синтез, натурные исследования на мелиоративных стационарах.

Результаты и обсуждение. Представляется целесообразным вначале рассмотреть методы определения фактических и расчетных параметров дренажного стока, которые будут использованы в предлагаемых расчетных зависимостях.

Фильтрационный расчет. Для расчетных периодов осушения модуль дренажного стока может быть определен через величину притока воды к дренам по формуле:

$$q_c = 116 q, \quad (1)$$

где q_c – модуль дренажного стока, л/с га; q – средний за расчетный период приток к дренам, м/сут.

Среднесуточный приток воды к дренам (интенсивность инфильтрационного питания) определяется по формуле [8]:

$$q = \frac{W}{t}, \quad (2)$$

где W – слой воды, подлежащий отводу дренажем, м; t – время понижения УГВ на заданную глубину, сут (в предпосевной период $t = 5 \dots 7$ сут).

В зависимости от типа водного питания (ТВП) болот определение слоя воды, отводимого дренажем, т.е. слоя дренажного стока (W), устанавливается по следующим зависимостям:

- при заболачивании из-за высокого стояния уровня грунтовых вод (грунтовый ТВП):

$$q = \frac{H_p}{T}, \quad (3)$$

- при заболачивании, вызванном высоким стоянием уровня грунтово-напорных вод (грунтово-напорный ТВП):

$$q = \frac{H_p}{T} + k_n J_n, \quad (4)$$

- при интенсивном притоке грунтовых вод на осушаемую площадь с внешнего водосбора:

$$q = \frac{H_p}{T} + k_c J_{cp}, \quad (5)$$

где q – приток воды, м/сут; H_p – слой воды (толщина), который должен быть отведен за расчетный период T (сут) в год заданной обеспеченности, м; k_n – приведенный коэффициент фильтрации грунтов залегающих между напорными водоносными слоями, в которых заложена дрена, м/сут; J_n – градиент восходящего тока, приближенно равный, $(H_n - H_0)/S$, где H_n – пьезометрический напор водоносного пласта над уровнем воды в дрене, м; H_0 – действующий напор, м; S – глубина залегания кровли напорного водоносного горизонта, обеспечиваемая от уровня воды в дрене, м.

Располагая значением некоторого дренажного модуля, можно рассчитать суточный объем дренажного стока (Q_m) с площади, занимаемой дренажным модулем:

$$Q_m = 86,4 q_c t F_m, \text{ м}^3, \quad (6)$$

где t – время, с; F_m – площадь дренажного модуля, га.

Соответственно, объем дренажного стока гидромелиоративной системы ($Q_{др}$), состоящей из нескольких модулей, будет равен:

$$Q_{др} = \Sigma Q_m. \quad (7)$$

Следует отметить, что значение модуля, полученное таким методом расчета справедливо для расчетных периодов дренажа (предпосевно-посевной, летне-осеннего паводка). Для остального времени года этот метод не работает, поскольку вместо нормированного значения необходимо иметь данные по режиму уровня грунтовых вод.

Метод неустановившейся фильтрации. Для расчета водного режима, включая дренажный сток (по Голованову А.И.) [2], используют систему уравнений:

$$Q = -\Delta \tau k [0.5(\varpi_r + 1)]^{3.5} \left[\bar{h}_i^{-1} \left(\frac{1}{v} \ln \varpi_r \right)^{\frac{1}{3}} + 1 \right], \quad (8)$$

$$Q = h_2(\mu + 0.5D_o\Delta\tau) - h_1(\mu - 0.5D_o\Delta\tau) - D_o\Delta\tau h_o, \quad (9)$$

$$W_2 = W_1 + O_c + M - E_c + Q, \quad (10)$$

где Q – суммарное количество влаги, перенесенное потоком интенсивностью q за интервал времени $\Delta\tau$; k – коэффициент фильтрации; ϖ_r – приведенная влажность на нижней границе корнеобитаемой зоны:

$$\varpi_r = \frac{\omega_r - \omega^*}{p - \omega^*}; \quad \omega_r = (1.15 \div 1.20)\omega; \quad \omega = \frac{W_r}{h_r} \quad (11)$$

ω_r – влажность на нижней границе корнеобитаемой зоны; ω и W_r – соответственно средняя влажность и влагозапасы корнеобитаемой зоны; ω^* – максимальная молекулярная влагоемкость; p – пористость:

$$h_i = h - h_r \quad (12)$$

h – глубина грунтовых вод; v – коэффициент, зависящий от механического состава почвы, принимается для суглинистых и супесчаных почв $v = 2,7$; h_1 и h_2 – соответственно глубина грунтовых вод в начале и в конце расчетного интервала времени $\Delta\tau$; μ – коэффициент водоотдачи грунта; D_o – интенсивность дренирования, то есть модуль дренажного стока при напоре на междренье, равном 1 м (определяется по формулам А.Н. Костякова, С.Ф. Аверьянова, В.М. Шестакова); h – глубина заложения дренажа (случай горизонтального дренажа); W_1 и W_2 – соответственно влагозапасы корнеобитаемой зоны в начале и в конце расчетного интервала; O_c – используемые атмосферные осадки; E_c – суммарное испарение; M – количество поливной воды, поступившей в корнеобитаемую зону за интервал $\Delta\tau$.

Система уравнений (8)..(9) связывает между собой изменение влажности корнеобитаемой зоны, колебание уровней грунтовых вод и позволяет рассчитывать баланс влаги в корнеобитаемой зоне, баланс грунтовых вод, водообмен между грунтовыми водами и корнеобитаемой зоной за некоторый интервал.

Балансовый метод более универсальный, он применим для любого интервала времени (в основном используется декада, месяц, сезон год). Приходные и расходные статьи баланса, как правило, измеряются в м³/га, в метрах или миллиметрах слоя воды. Уравнение водного баланса для осушаемого массива или его части записывается в следующем виде [2,6,7]:

$$\Delta W = P + M + \Phi + p - E - D_p + (\bar{\Pi} - \bar{O}) + (\underline{\Pi} - \underline{O}), \quad (13)$$

где $\Delta W = W_2 - W_1$ – изменение запасов влаги (на поверхности почвы, в зоне аэрации и в грунтовых водах) за расчетный период; W_1 и W_2 – запасы влаги соответственно в начале и конце расчетного периода; P – атмосферные осадки; M – оросительная норма; Φ – фильтрационные потери из оросительной сети; p – водообмен грунтовых вод с подземными (межпластовыми) водами; E – суммарное испарение; D_p – дренажный сток; $\bar{\Pi}$ и \bar{O} – поверхностный приток и отток воды; $\underline{\Pi}$ и \underline{O} – приток и отток грунтовых вод;

Для раскрытия взаимосвязи атмосферных, почвенных и грунтовых вод составляют частные уравнения водного баланса, позволяющие более полно оценить тип водного питания объекта мелиорации.

Для поверхности почвы –

$$\Delta W_n = P + M - E_e - B_n + (\bar{\Pi} - \bar{O}), \quad (14)$$

для зоны аэрации (или корнеобитаемого слоя) –

$$\Delta W_a = B_n - E + g, \quad (15)$$

для грунтовых вод –

$$\Delta W_z = (\underline{\Pi} - \underline{O}) - g + \Phi - D_p + p. \quad (16)$$

Входящие в эти уравнения дополнительные элементы имеют следующие обозначения:

$\Delta W_n, \Delta W_a, \Delta W_z$ – изменение запасов воды соответственно на поверхности почвы, в зоне аэрации и грунтовых водах за рассматриваемый промежуток времени; E_e – испарение с водной поверхности; B_n – количество впитавшейся в почву воды; g – влагообмен корнеобитаемого слоя почвы с грунтовыми водами (положительное значение – вверх, отрицательное – вниз).

Из уравнения (28) можно определить значение дренажного стока (D_p):

$$D_p = (\underline{\Pi} - \underline{O}) - g + \Phi - \Delta W_z + p \quad (17)$$

Балансовый метод, как частное выражения закона сохранения вещества и энергии, является одним из самых надежных. Но его использование серьезно ограничивается трудоемкостью измерения основных его приходных и расходных статей.

Гидрологический метод. Одним из надежных методов расчета водного режима мелиорируемых земель является гидрологический метод. Наиболее совершенные программы расчета по последовательно сменяющимся интервалам времени (от предпосевного периода до уборки урожая) предложены В.Ф. Шебеко [11].

Глубина грунтовых вод в начале расчетного периода должна определяться на основе водно-балансовых расчетов для весеннего периода (при отсутствии такого расчета поверхность грунтовых вод принимается совпадающей с поверхностью земли).

Отводимый дренажем слой воды следует вычислять по следующим формулам:

а) для не затапливаемых весенними паводками участков

$$W = H_0(1 - K_c) + \mu h_0 - et \quad (18)$$

б) для затапливаемых участков

$$W = H_e + \mu h_0 - et \quad (19)$$

в) при проверке расстояний между дренами (каналами) по формулам установившейся фильтрации

$$W = \sum \varepsilon t - \mu(H_0 - h_0) - \varepsilon t_0 \quad (20)$$

г) для расчета расстояний на освобождение расчетного слоя почвы от избыточной воды

$$W = H_e + \mu h_0 - et_0, \quad (21)$$

где W – слой отводимой воды, м; H_c – запас воды в снеге 10%-ной обеспеченности к началу таяния, м; H_e – слой воды, оставшейся после снеготаяния и стока по поверхности в микропонижениях (при отсутствии наблюдений и организованном стоке принимается равным 0,01...0,02 м); K_c – коэффициент стока талых вод, значения которого принимают в зависимости от уклона (i) поверхности: при $i < 0,01$ $K_c = 0,6$; при $i = 0,01...0,05$ $K_c = 0,75$; при $i > 0,05$ $K_c = 0,95$; t_0 – время, сут (t_0 не всегда равно t , если нет обоснования в различии этих отрезков времени, то условно принимается $t = t_0$); μ – коэффициент водоотдачи (безразмерная величина); e – интенсивность испарения за время t_0 , м/сут (если $t_0 < 10$ сут то с некоторым запасом в расстоянии между дренами следует принимать $e = 0$); ε –

интенсивность инфильтрации в грунтовые воды (ε равно средней интенсивности ε_0 осадков, когда влажность почвы близка к ППВ; при меньшей влажности $\varepsilon \neq \varepsilon_0$ и зависит от полевой влагоемкости почвы, которую при отсутствии фактических данных следует принимать равной (0,6...0,5) ПВ); h_0 – норма понижения УГВ (нома осушения соответствующего периода).

Экспериментальный метод или *метод гидрологического мониторинга* отличается проведением натурных регулярных систематических измерений объемов дренажного стока на мелиоративно-болотных стационарах. При этом применяется прямое измерение объемным способом, когда фиксируется объем дренажного стока (V) за конкретный промежуток времени (t). Тогда расход определяется, как:

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (22)$$

где Q – расход дренажного стока, л/с; V – объем дренажных вод в ($л$), собранных в мерный сосуд за время t (с).

В случае подтопленных дренажных устьев прямое измерение становится невозможным и используется другой способ, когда с помощью индикаторов (красителей, радиоизотопов и др.), специальных микровертушек или же многоканальных измерителей (например, немецкий «Наутилус» и др.) измеряется скорость течения воды (v , м/с) в коллекторе. Зная площадь внутреннего сечения коллектора (f_k , см²), расход дренажного стока в л/с можно определить по формуле:

$$Q = 10^{-1} v f_k \quad (23)$$

При известной площади дренажного модуля (F_{dp}), в устье коллектора которого измеряется сток, можно рассчитать модуль дренажного стока (q , л/с·га):

$$q = \frac{Q}{F_{dp}} = \frac{V}{t F_{dp}} \quad \text{или} \quad q = \frac{v f_k}{10 F_{dp}} \quad (24)$$

В основных регионах осушения СССР велись такие наблюдения и накоплен значительный материал, который, к сожалению, не всегда доступен, кроме того, не обладает универсальной репрезентативностью, что приводит к ошибкам в случае использования таких данных в других условиях. С другой стороны, накопленные значительные данные по дренажному стоку на мелиоративных стационарах в полной мере не обобщены, что затрудняет их использование в мелиоративной и природоохранной практике.

Метод аналогий широко применяется в общей гидрологии суши и болот. Он может быть успешно использован и при разработке СКИОВО. Суть метода аналогий состоит в использовании данных, полученных в результате гидрологического мониторинга конкретного мелиоративного объекта для характеристики другого, близкого по свойствам объекта. Объект мониторинга (объект-аналог) по существенным природно-хозяйственным свойствам и качествам, а также по продолжительности наблюдений, должен быть типичным для определенного ландшафта или водосбора. При подборе аналогов учитываются следующие условия: географическая близость, сходство климатических факторов, однотипность почв, гидрогеологических (глубина водоупора, проводимость водоносного пласта) и гидрологических (озерность, заболоченность, залесенность, распаханность) условий. Площадь сравниваемых водосборов не должна отличаться более чем в 10 раз. В отношении объектов мелиорации переувлажненных земель особую важность приобретают *тип водного питания и способ осушения и увлажнения*.

Принцип гидрологической аналогии используется при расчетах основных гидрологических характеристик поверхностного, подземного и *дренажного* стоков в случае отсутствия или недостаточности гидрометрических данных для объектов проектирования (мелиорации, гидротехнического строительства, рекультивации, природообустройства), а также для удлинения гидрологических рядов. К таким характеристикам в общем случае относятся обеспеченные значения расходов и уровней воды, модулей стока.

При проведении расчетов водного режима при шлюзовании и дождевании должны в максимальной мере использоваться результаты местных (региональных) научных исследований по влагообмену между почвой, зоной аэрации и грунтовыми водами на мелиорируемых землях. Для ориентировочных расчетов дренажные модули стока рекомендуется принимать равными: 0,5 – на тяжелых, 0,6 – на легких почвах и 0,7 л/с га – на низинных болотах.

При проектировании осушительной сети осушительно-увлажнительных систем расчетные модули стока должны приниматься в зависимости от типа использования земли, так как разные сельскохозяйственные культуры относятся по-разному к переувлажнению земель. Максимальные значения расчетных модулей стока принимаются для застраиваемых территорий, затем для технических и овощных культур, полевых культур и минимальные для лугов и пастбищ. Для определения расчетных модулей стока проводится обработка данных наблюдений за расходами и уровнями воды на речных гидрометрических постах района мелиорации.

Если отсутствуют данные наблюдений или срок их ограниченный, проводится сопоставление расчетных модулей стока (вычисленных по региональным формулам, рекомендуемым научными организациями) с модулями стока в подобных, аналогичных условиях (по топографии, размерам площади водосборного бассейна, почвенно-гидрогеологическим условиям, залесенности и заболоченности, распаханности водосбора).

Расчетными периодами года в зависимости от характера планируемого сельскохозяйственного использования являются: весенний максимальный талых вод, летне-осенний паводковый, предпосевной и бытовой периоды.

В зависимости от характера использования осушаемых земель, удельного веса занимаемых основных культур и типа осушаемой сети (открытая, закрытая) на основании технико-экономических расчетов должна определяться для крупных массивов (площадью более 2000 га) расчетная обеспеченность расходов воды. Для небольших массивов она принимается равной 5...15 % для зерновых, 1...5 % для технических, овощных культур и садов, 10...20 % для сенокосов.

Подземное питание болот повышает среднегодовой сток и незначительно сказывается на максимальных расходах половодий. Среднегодовые модули дренажного стока с повышением интенсивности подземного питания возрастает с 0,1 до 0,4...0,5 л/с га, максимальные модули стока для всех болот не превышают 0,7...0,8 л/с га. Лишь при выходе в каналы родников модули стока могут быть до 3...4 л/с га.

Расчетный модуль дренажного стока q (л/с га) составляет: для глин, тяжелых и средних суглинков 0,4...0,5; для легких суглинков и супесей 0,6; для песков и низинных торфяников 0,7...0,8. При осушении болот интенсивного подземного питания модуль стока может составлять 0,9...1,2 л/с га.

Площадь увлажнения дренажными водами

Для повышения степени утилизации дренажных вод нами предложена инновационная технология гидромелиоративного рециклинга [9]. Она позволяет утилизировать дренажные воды и содержащиеся в них ингредиентные загрязнители путем увлажнения осушаемых земель. Определение оптимального объема накопительных емкостей и площади увлажнения дренажными водами определяется с учетом объемов дренажного стока. Степень загрязнения дренажных вод устанавливается в процессе эколого-мелиоративного мониторинга.

В зависимости от типа водного питания осушаемых земель, степени аккумуляирования дренажных вод следует выделять три вида гидромелиоративного рециклинга.

- *Оперативный рециклинг*, когда для увлажнения используется актуальный дренажный сток в режиме реального времени без применения накопительных емкостей, суточное регулирование или недельное регулирование (устраиваются емкости суточного или недельного регулирования) преимущественно рекомендуются в условиях грунтового и грунто-напорного ТВП); увлажняемая площадь в этом случае определяется из соотношения:

$$F_{увл}^{опер} = 8,64 \frac{F_{ос}}{m_{бр}} \sum_1^{t_{мин}} q_i t_i \quad (25)$$

- *Сезонный рециклинг*, когда сток весеннего периода (предпосевного-посевного) накапливается в прудах-накопителях (или других емкостях) и используется для увлажнения в будущие засушливые периоды вегетационного периода этого же года (преимущественно рекомендуется для грунтово-атмосферного и намывного ТВП); увлажняемая площадь в этом случае увеличивается и определяется из следующего соотношения:

$$F_{увл}^{сез} = 8,64 \frac{F_{ос}}{M_{бр}} \sum_1^{t_{сез}} q_i t_i \quad (26)$$

- *Многолетний гидромелиоративный рециклинг*, когда аккумулируется дренажный сток влажных лет и используется для увлажнения в вегетационные периоды будущих засушливых лет (преимущественно рекомендуется для атмосферного и склонового ТВП); увлажняемая площадь определяется соотношением:

$$F_{увл}^{мл} = 8,64 \frac{F_{ос}}{M_{бр}} \sum_1^{t_2} q_i t_i \quad (27)$$

В вышеприведенных формулах приняты следующие обозначения:

$F_{увл}^{опер}$, $F_{увл}^{сез}$ и $F_{увл}^{мл}$ – площадь увлажнения дренажными водами при оперативном, сезонном и многолетнем регулировании стока, га; $F_{ос}$ – площадь осушения (водосбора) мелиоративного модуля (системы), га; $m_{бр}$ – поливная (разовая) норма увлажнения, мм; $M_{бр}$ – сезонная (оросительная) норма увлажнения брутто, мм; q_i – модуль дренажного i -го периода, л/с га; t_i – продолжительность i -го периода, сут; $t_{мин}$ – продолжительность минимального межполивного интервала, сут; $t_{вес}$ – продолжительность предпосевного-посевного периода стока; t_2 – продолжительность заполнения накопительных емкостей при многолетнем регулировании.

Для проверки приведенных расчетных зависимостей (25)...(27) использованы данные выполненных нами натурных исследований на мелиоративных стационарах Мещерской низменности. Площадь водосбора стационара «Вожа» в 18,5 раз превышает площадь осушения. В острозасушливый год оперативный рециклинг надежно обеспечивает увлажнение 29...46% осушаемой площади. Расчет сезонного регулирования стока для условий острозасушливого года для минимального зарегистрированного модуля стока 0,03 л/с га показывает, что только майского объема стока при его аккумулировании с избытком хватает для увлажнения всей осушаемой площади «Вожа» при размере оросительной нормы 1500 м³/га.

В засушливый вегетационный период на стационаре «Тинки-2», площадь водосбора которой в 9,5 раз превышает площадь осушения, дренажными водами при условии обеспечения санитарного расхода в магистральном канале можно увлажнять 28...67 % осушаемой площади при возделывании картофеля, 26...62 % при возделывании капусты, а в случае выращивания многолетних трав потенциальная увлажняемая площадь в 1,5...3,7 раза больше площади осушения. В условиях сезонного рециклинга с увлажнением всей осушаемой площади, как показывают расчеты по формуле (26), достаточно аккумулирования стока за период с третьей декады апреля до конца мая.

Полученные результаты говорят о гидрологической надежности реализации гидромелиоративного рециклинга в условиях Мещерской низменности на осушаемых болотах с грунтовым и грунтово-намывным ТВП. При грунтово-напорном ТВП модуль дренажного стока существенно выше (до 2 л/с га на стационаре «Кальское»), повышается и гидрологическая надежность не только сезонного, но и оперативного рециклинга.

Второй важный вывод состоит в том, что водооборотные гидромелиоративные системы, реализующие многолетний рециклинг в условиях отмеченных ТВП (грунтового, грунтово-намывного) и при соотношении площади водосбора к площади осушения более 10:1, с гидрологической точки зрения, не целесообразны, как и в случае грунтово-напорного ТВП вне зависимости от степени осушенности водосбора.

ВЫВОДЫ

Анализ методов определения дренажного стока для целей разработки модельной части технологии утилизации дренажных вод и схем комплексного использования и охраны водных объектов говорит о необходимости учета гидрологической изученности водных объектов и типов водного питания земель. Как показывает практика, чаще используется несколько методов, что позволяет избежать грубых ошибок. При разработке СКИОВО необходимо располагать данными не только объемов дренажного стока, но и качества дренажных вод, что требует восстановления мелиоративно-болотных стационаров и расширения объемов эколого-мелиоративного мониторинга в типичных природно-хозяйственных условиях.

Предложена инновационная технология гидромелиоративного рециклинга и разработаны расчетные зависимости для определения площади увлажнения осушаемых земель дренажными водами, что обеспечивает повышение степени утилизации дренажных вод, снижает риски загрязнения природных водоемов и полностью или частично исключает водозабор природных вод для целей дополнительного увлажнения. Проверка технологии в условиях мелиоративно-болотных стационаров Мещерской низменности подтвердила ее гидрологическую надежность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверьянов С.Ф.* Расчет понижения и подъема грунтовых вод при осушении системой каналов (дрен) // Гидротехника и мелиорация. 1957. №12. С. 49–61.
2. *Айдаров И.П., Голованов А.И., Никольский Ю.Н.* Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель (рекомендации). М.: Агропромиздат, 1990. 60 с.
3. Гидрологические расчеты при осушении болот и заболоченных земель/Под ред. К.Е. Иванова. Л.: Гидрометеиздат, 1963.
4. *Ивицкий А.И.* Основы проектирования и расчетов осушительных и осушительно-увлажнительных систем. Минск: Наука и техника, 1988.
5. *Клиперт В.И.* Осушение болот напорного питания гончарным дренажем. Автореф. дисс ... канд. техн. наук. Минск, 1968. 22 с.
6. *Костяков А.Н.* Основы мелиораций. 6-е изд., доп. и перераб. М.: Сельхозгиз, 1960. 622 с.
7. *Маслов Б.С.* Гидрология торфяных болот. М: Россельхозакадемия, 2009. 266 с.
8. Мелиоративные системы и сооружения. СНиП 2.06.03.85. М.: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1985. 199 с.
9. *Пыленок П.И.* Гидромелиоративный рециклинг. Научное обоснование, технология, экология. - LAPLAMBERT Academic Publishing, 2018. 258 с.
10. Руководство по проектированию осушительных систем сельскохозяйственного назначения ВТР-П-8-76. М.: Союзводпроект, 1976. 139 с.
11. *Шебеко В.Ф.* Водохозяйственные расчеты при мелиорации переувлажненных земель. Минск: БелНИИМиЛ, 2000. 312 с.
12. *Шкиннис Ц.Н.* Проблемы гидрологии дренажа. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 348с.
13. *Янголь А.М.* Нормы дренажного стока для проектирования и эксплуатации закрытого дренажа // Осушение болотных и заболоченных почв. Минск: Изд-во Академии сельскохозяйственных наук БССР, 1960. С. 347–360.
14. *Casteel D.A., Mecunnall J., Tring I.M.* Filed drainage. Principles and practices. London: Ministry of agriculture, Fisheries and Food. 1984. 250p.
15. *Farr E., Henderson W.C.* Land Drainage-London, New York: Longman, 1986. 251 p.