

П.И. Пыленок, ст. науч. сотр., доц., д-р техн. наук
Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации
им. А.Н. Костякова, г. Рязань, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ МЕЛИОРИРУЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОГО РЕЦИКЛИНГА

В последние десятилетия в центральной России имеют место неблагоприятные последствия аридизации климата. Например, впервые за всю историю наблюдения в 1997 году не произошло весеннее половодье на крупном притоке Волги – реке Оке. Это явление в последующем из уникального стало регулярным и более продолжительным. Уже четыре года подряд, начиная с 2014 г. не происходит весеннего половодья, что существенно ухудшает экологическое состояние ландшафтов Окской поймы. В условиях осуходливания крупной водной артерии и аномально жаркого лета в 2010 году наблюдалось региональное понижение глубины залегания грунтовых вод, произошли лесные и торфяные пожары в Мещерской низменности, в результате погибли 62 человека, выгорело более 4 млн. га лесов, общий экономический ущерб составил свыше 12 млрд. рублей.

В сложившихся природно-экономических условиях стал вопрос о судьбе осушаемых торфяных болот центральной России, которые сегодня практически не используются в сельскохозяйственном производстве. Предлагается их затоплять и возвращать в исходное состояние, в котором они были до осушения. Такое возвращение антропогенных ландшафтов в исходное состояние можно обозначить применяемым в экологии термином ренатурализация. При этом фактор водного режима, безусловно, является одним из важнейших, но далеко не единственным. Предполагается, что вслед за восстановлением болотного водного режима уже под действием естественных сукцессий произойдет постепенная регенерация других компонентов болотного ландшафта, включая торфонакопление.

Близкие проблемы возникают в отношении выработанных торфяников, которые нуждаются в рекультивации, и также представляют определенную пожарную опасность. При затоплении осушенных болот возникает множество профессиональных вопросов, не решив которые, можно бессмысленно затратить огромные материальные и финансовые ресурсы, не достигнув желаемой цели. Нельзя сбрасывать со счетов и моральный аспект. Ведь речь идет об уничтожении результатов труда людей – мелиораторов, которые создавали условия не только для высокопроизводительного сельскохозяйственного и лесохозяйственного производства, но и для комфортного проживания населения на заболоченных территориях.

Согласно данным о водном балансе Земли, в болотах, занимающих площадь 2,7 млн. км², содержится около 11 тыс. км³ воды, что составляет 0,03 % общих запасов пресных вод. Примерно 10 % территории России покрыто болотами, в которых сосредоточено около 3 тыс. км³ статических запасов природных вод [6]. Кажущееся водное изобилие естественных болот, быстро убывает при их осушении. Средний за 53 года дефицит естественного увлажнения теплого периода года составляет 84-159 мм, увеличиваясь с северо-запада на юго-восток Мещерской низменности [5]. Поэтому требуется рациональное использование водных ресурсов для обеспечения экологической устойчивости и пожарной безопасности мелиорируемых территорий.

Методика. При осушении торфяной залежи из ее верхнего слоя (слоя осушения, который условно можно принять равным норме осушения – 0,8-1,2 м для сельскохозяйственных целей) отводится избыточная влага, объем которой зависит от биологических и водно-физических свойств торфа и может быть определен по формуле:

$$V = \mu (H_0 - H_6) = \mu \Delta H \quad (1)$$

где V – объем воды вытекающей из почвы под действием сил гравитации на единицу площади, м; μ – суммарный коэффициент водоотдачи в долях единицы; H_o – глубина залегания уровня грунтовых вод от поверхности земли при осушении, м; $H_б$ – глубина залегания уровня болотных вод от поверхности земли в естественном состоянии, м.

В случае обводнения необходимо осуществить обратный осушению процесс, называемый *субиригацией*, для чего потребуется обеспечить подъем уровня грунтовых вод (УГВ) с глубины H_o до $H_б$. С определенными допущениями принимаем, что в осушенную торфяную залежь для восстановления естественного водного режима нужно подать примерно тот же объем воды, который отводится при осушении (1) и может достигать 3000 м³/га.

Для оценки потребности в воде для целей ренатурализации необходимы значения водоотдачи торфа и данные о снижении уровня грунтовых (болотных) вод (ΔH) под действием осушения. Коэффициент суммарной водоотдачи низинных торфов составляет 0,05-0,24 [2]. В специальных определениях в торфяных лизиметрических монолитах на Вожской осушительной системе суммарная водоотдача по нашим данным составляла 0,2-0,25.

Чтобы установить водноресурсные возможности увлажнения осушаемых торфяно-болотных почв, предлагается использовать выполненное нами ранее [4] гидрологическое обоснование гидромелиоративных рециклинговых технологий, которое позволяет оценить надежность внутренних водных ресурсов не только для целей сельскохозяйственного орошения, но и для пожарной безопасности мелиорируемого агроландшафта. Для расчетов было предложено выделять три типа гидромелиоративного рециклинга.

Оперативный рециклинг, когда для увлажнения используется актуальный дренажный сток в режиме реального времени без применения накопительных емкостей, суточное регулирование (устраиваются емкости суточного регулирования) или недельное регулирование; увлажняемая площадь в этом случае определяется из соотношения:

$$F_{\text{увл}}^{\text{опер}} = 8,64 \frac{F_{\text{ос}}}{m_{\text{бр}}} \sum_1^{t_{\text{мин}}} q_i t_i \quad (2)$$

Сезонный рециклинг, когда сток весеннего (предпосевного-посевного) периода накапливается в прудах-накопителях и используется для увлажнения в будущие засушливые периоды вегетационного периода этого же года; увлажняемая площадь в этом случае увеличивается и определяется из следующего соотношения:

$$F_{\text{увл}}^{\text{сез}} = 8,64 \frac{F_{\text{ос}}}{M_{\text{бр}}} \sum_1^{t_{\text{вес}}} q_i t_i \quad (3)$$

Многолетний гидромелиоративный рециклинг, когда аккумулируется дренажный сток влажных лет и используется для увлажнения в вегетационные периоды будущих засушливых лет; увлажняемая площадь достигает максимального значения и определяется соотношением:

$$F_{\text{увл}}^{\text{мн}} = 8,64 \frac{F_{\text{ос}}}{M_{\text{бр}}} \sum_1^{t_2} q_i t_i \quad (4)$$

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

Основная трудность расчета по приведенным формулам часто связана с недостатком и часто ненадежностью данных о дренажном стоке. Поэтому для оценочных расчетов нами

использованы фактические данные о дренажном стоке на мелиоративно-болотных стационарах Мещерской низменности. В расчетах использованы следующие параметры режима увлажнения осушаемых торфяно-болотных почв: поливные нормы – 300 м³/га; минимальные межполивные интервалы для картофеля – 10 суток, для капусты – 9 суток, многолетних трав – 55 суток.

Результаты и обсуждение. Для осушаемых торфяно-болотных почв бассейна р. Вожа, водосборная площадь которого в 18,5 раза превышает площадь осушения, расчеты выполнены для условий острозасушливого периода с мая по август 1979 г., вероятность непревышения суммы атмосферных осадков которого составила 90 %. Оперативное увлажнение 29-46 % площади осушения под капустой и картофелем надежно обеспечено в июне-августе. В мае для всех культур, а также в июне-августе для трав дренажных вод в избытке хватает для увлажнения всей осушаемой площади (таблица 1).

Таблица 1 – Расчетные площади (га) увлажнения осушаемых земель

Показатели	«Вожа»				«Тинки-2»			
	май	июнь	июль	август	май	июнь	июль	август
Модуль стока ¹ (q_i), л/с га	0,11	0,0086	0,0078	0,006	0,33	0,27	0,22	0,19
Картофель (t_{min} =10 сут)	3643	285	258	199	$\frac{217^*}{304}$	$\frac{164}{250}$	$\frac{117}{204}$	$\frac{90}{177}$
Многолетние травы (t_{min} =55 сут)	20038	1570	1420	1090	$\frac{1191}{1668}$	$\frac{898}{1375}$	$\frac{642}{1118}$	$\frac{495}{972}$
Капуста (t_{min} =9 сут)	3279	256	232	179	$\frac{195}{273}$	$\frac{147}{225}$	$\frac{105}{183}$	$\frac{81}{159}$

* В числителе – за вычетом санитарного расхода (50 % бытового стока в межень) и потерь воды на испарение; в знаменателе – из условия полного использования дренажного стока

Расчет сезонного регулирования стока для условий этого же острозасушливого года для минимального зарегистрированного модуля стока 0,03 л/с га показывает, что только майского объема стока при его аккумуляции с избытком хватает для увлажнения всей осушаемой площади «Вожа» при размере оросительной нормы 1500 м³/га.

На объекте «Макеевский мыс» площади регулярного увлажнения в засушливые годы могут быть увеличены только за счет применения сезонного регулирования. Объемы стока посевного периода достаточно велики, по данным Г.И. Ершовой, только в мае слой откачки составляет 23 мм.

В засушливый вегетационный период на системе «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 (см. таблицу 1) 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 (3), достаточно аккумуляции 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. Учитывая, что при грунтово-напорном ТВП модуль дренажного стока существенно выше (до 2 л/с га), повышается и гидрологическая надежность.

Второй важный вывод состоит в том, что полповодооборотные гидромелиоративные системы, реализующие многолетний рециклинг, в условиях отмеченных ТВП (грунтового, грунтово-намывного) и соотношении площади водосбора к площади осушения 1:10 и бо-

¹ Модули стока рассчитаны по экспериментальным гидрологическим данным, полученным В.Г. Мирошниченко на объекте «Вожа»; К.Н. Евсениным - на системе «Тинки-2»..

лее гидрологически не целесообразны, как в случае грунтово-напорного ТВП вне зависимости от степени осушенности водосбора.

Эффективность ренатурализации болот может быть существенно повышена, если восстановление уровня грунтовых вод осуществлять не до H_0 , а до нормы осушения лесов ($H_n = 0,3-0,5$ м). Результаты расчета с учетом размера фактического понижения УГВ при осушении болот [2] для $\mu=0,2$ приведены в таблице 2, из которой следует возможность уменьшения объемов водоподачи (нетто) примерно на 1000 м³/га, а объемы воды для ренатурализации осушаемых болот не превышают экологическую норму увлажнения, размер которой обоснован нами ранее и составляет 1550 м³/га. Сравнение данных таблиц 1 и 2 позволяет также заключить, что объемов дренажных вод вполне достаточно для решения задачи ренатурализации и пожаротушения. С учетом практики получения через 20 лет прироста древесины 250 м³/га следует, что затраты на ренатурализацию болот и лесопосадки окупятся значительно быстрее, чем на банальное затопление.

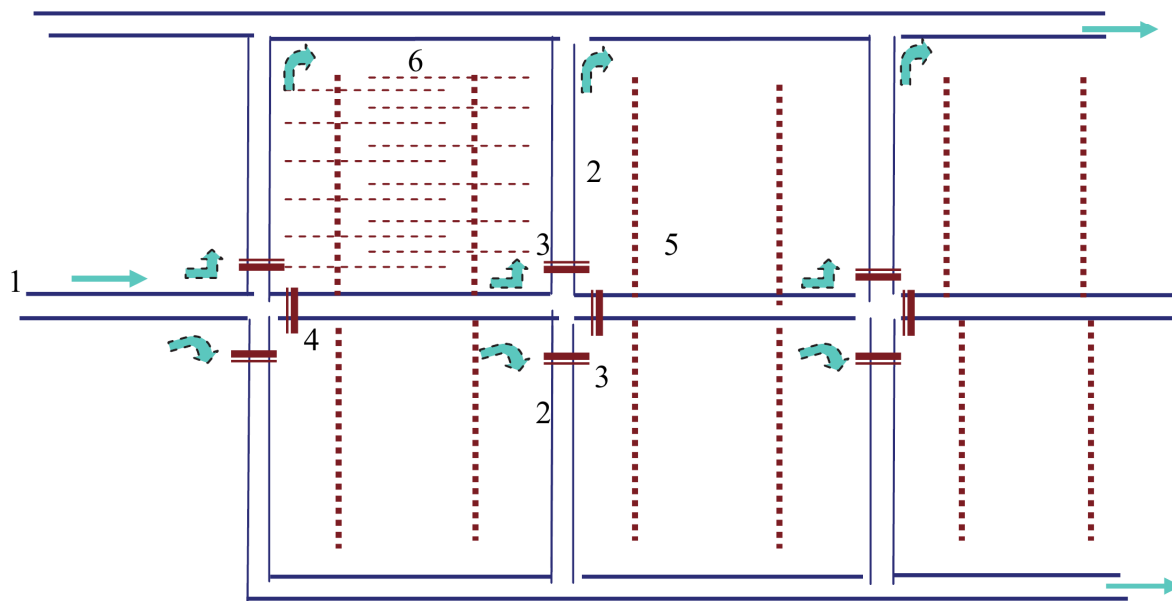
Таблица 2 – Оценочные значения объемов воды для ренатурализации осушаемых болот

Тип болота и водного питания	Способы осушения	Понижение уровня ΔH , м	Требуемый подъем УГВ до нормы лесосушения ΔH_n , м	Объем воды для восстановления УГВ, м ³ /га	
				полного	до нормы лесосушения
Террасные и котловинные с грунтовым ТВП	Мелкие каналы (1,0-1,4м)	0,4-0,7	0,1-0,2	1400	400
	Глубокие каналы (1,5-2,0м)	0,6-0,9	0,3-0,4	1800	800
	Закрытый дренаж (1,0-1,4м)	0,5-0,8	0,2-0,3	1600	600
	Глубокие каналы (1,5-2,0м), врезанные дном в песок	0,8-1,2	0,5-0,7	2400	1400
Пойменные с грунтово-намывным ТВП	Глубокие каналы (1,5-2,0м) с машинным водоотводом	0,8-1,0	0,5	2000	1000
	Дренаж (1,0-2,0м) с машинным водоотводом	0,7-0,9	0,2-0,4	1800	800
Водо-раздельные с грунтовым ТВП	Лесо-мелиорация	0,2-0,4	0	800	0

Технологии ренатурализации болот. В литературе и практике на сегодня не сложилось ясного представления о целях, способах и последствиях затопления осушаемых болот. В этой связи нами было выделено и рассмотрено пять возможных технологий затопления или ренатурализации болот [2]. Наиболее прогрессивной, но наименее разработанной является рециклинговая технология, соединяющая принцип слияния водных потоков (осушение) и принцип разделения (бифуркации) водных потоков (увлажнение). При этом циклы осушения и увлажнения последовательно сменяют друг друга. Отличие новой технологии от традиционной состоит также в многократном повторении рециклига во времени и пространстве.

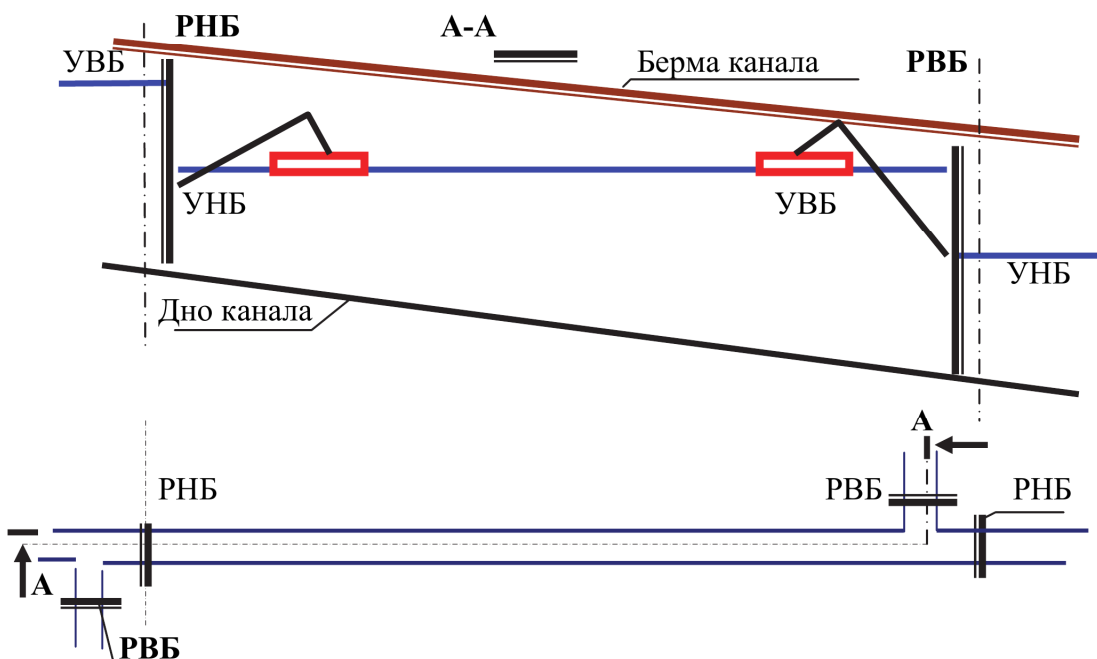
С учетом этого была разработана и запатентована конструкция такой системы [3], состоящая из каскадно расположенных каналов-накопителей, каждый из которых в истоко-

вой части оснащен регулятором уровня воды нижнего бьефа, что обеспечивает водоподачу при снижении в нем уровня воды (рисунки. 1, 2). В устьевой части канала для разделения его с нижерасположенным модулем устраивается земляная перемычка с водовыпуском донного типа (на выходе которого – регулятор нижнего бьефа) и отводящий канал с регулятором уровня воды в верхнем бьефе.



1 – магистральный канал; 2 – отводной канал; 3 – регулятор верхнего бьефа; 4 – регулятор нижнего бьефа; 5 – закрытый коллектор; 6 – радиальный дренаж; 7 – закрытый дренаж; 8 – противоположно-направленный дренаж (стрелками показано направление движения воды)

Рисунок 1 – Водооборотная осушительно-увлажнительная система незамкнутого типа с каскадным расположением каналов-накопителей дренажных вод



УВБ – уровень верхнего бьефа; УНБ – уровень нижнего бьефа; РВБ – регулятор верхнего бьефа; РНБ – регулятор нижнего бьефа

Рисунок 2 – Канал-накопитель дренажных вод

Предложенная конструкция, благодаря чередованию узлов слияния и бифуркации водного потока позволяет максимально использовать водные ресурсы мелиорируемой территории и обеспечивать как экологическую устойчивость, так и пожарную безопасность мелиорируемых торфяно-болотных ландшафтов, что приобретает особую актуальность в связи с нарастающей аридизацией климата в Центральной России. Технология гидромелиоративного рециклинга была использована в 2014 году при разработке проекта восстановления комплекса выработанных торфяников объекта «Завидово», расположенного на территории Московской и Тверской областей России. Такой подход предлагается целесообразным также при разработке и реализации бассейновых схем мелиорации земель.

Список использованных источников

- 1 Маслов Б.С. Гидрология торфяных болот. – М.: Россельхозакадемия, 2009. – 266 с.
- 2 Пыленок П.И. Ренатурализация осушенных болот: гидрологические предпосылки и технологии // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук, 2013, №1, с. 38-42.
- 3 Пыленок П.И., Бородычев В.В., Салдаев А.М. Осушительно-увлажнительная мелиоративная система. // Патент РФ №2233075, Бюл. №21, 2004.
- 4 Пыленок П.И. Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. докл. Междунар. научн. конф. (Минск, 14-17 сент. 2016 г.). В 2 т. Т 2. Минск: Беларуская наука, 2016, с. 106-110.
- 5 Семенова К.С. Обоснование противопожарного шлюзования осушенных торфяников в условиях мещерской низменности// Автореф... дисс. канд. техн. наук. М.. 2016.
- 6 Черняев А.М. (ред.) Россия: Водно-ресурсный потенциал. – Екатеринбург, Аэрокосмоэкология, 1998. – 342 с.

УДК 628.1

В.С. Гевод, доц., д-р хим. наук; И.А. Борисов, студ.

Украинский государственный химико-технологический университет, г. Днепр, Украина

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ВНУТРИ ВОДОПРОВОДОВ И ЭКОНОМИЧНЫЙ СПОСОБ ЕЁ ДООЧИСТКИ В МЕСТАХ ПОТРЕБЛЕНИЯ

В настоящее время подавляющее большинство населения крупных городов обеспечивается питьевой водой предприятиями централизованной водоподготовки. С выхода из этих предприятий очищенная и обеззараженная, а иногда и специально обессоленная природная вода подается к потребителям по магистральным и локальным водопроводам.

На протяжении многих десятилетий считалось очевидным, что качество водопроводной воды зависит только от совершенства её начальной очистки на предприятии водоподготовки. Поэтому если при подаче в водопровод вода соответствовала требованиям токсикологической и микробиологической безопасности, то не вызывало сомнений, что при исправном водопроводе качество воды на его любом участке будет таким же, как и на входе в водопровод. Но по мере расширения селитебных территорий и охвата все большего количества населения централизованным водоснабжением было обнаружено, что с увеличением протяженности водопроводов в химическом и микробиологическом составах водопроводной воды происходят изменения [1]. И эти изменения столь драматичны, что качество воды на периферийных участках протяженных водопроводов почти всегда «де факто» оказывается ниже санитарно-гигиенических нормативов.

Деградация качества воды внутри водопроводов происходит в результате коррозии водопроводных труб, появления и развития биологических обрастаний в водопроводных системах и накопления в воде хлорорганических производных.

Раскрытие причин вторичного загрязнения водопроводной воды и осознание рисков, связанных с её употреблением, инициировало разработку и насыщение потребительского рынка различными водоочистительными устройствами типа «pointofentry» и «pointofuse».