

Таким образом, используя разовые измерения гидрологических характеристик стока реки, возможно, получить расчетные параметры водотока (средняя глубина, ширина поперу водотока, средняя скорость) значения соответствующие расходу реки различной обеспеченности.

**Заключение.** В настоящей статье рассмотрены современные подходы к оценке отдельных расчетных параметров малых водотоков, для которых не велись многолетние наблюдения за стоком. Предложенные подходы были применены для оценки средней глубины потока р. Лесная в районе г. Брест при пропуске расхода 95 % обеспеченности. В случае применения предложенной системы расчетных зависимостей для решения конкретных народнохозяйственных и технических задач является важным проверка соответствия периода проведения натурных исследования гидрологическому периоду искомой характеристики (второе допущение).

Описанные подходы позволили выполнить оценку таких параметров потока как средняя глубина, ширина водотока и средняя скорость при заданном расходе воды расчетной обеспеченности для естественных водотоков.

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Чугаев, Р.Р. Гидравлика (учебник для вузов) / Р.Р. Чугаев. – Л.: Энергия, 1975. – С. 145–147.
2. Скворцов, Л.С. Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения: учебник для вузов. – М.: Архитектура-С, 2008. – С. 120–123.
3. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-168-2009(02250) // Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 55 с.

Материал поступил в редакцию 15.03.11

**VOLCHEK A.A., SHESHKO N.N. Excluding one-time hydrometric measurements to determine the main hydrological characteristics and parameters of the channel**

The article deals with modern approaches to estimate the parameters of the functions of the distribution of river runoff. An algorithm for estimating the parameters of river flow corresponding to a given security, based on one-time hydrometric measurements. Their practical applicability and efficiency have been shown in data processing surveying work on the Lesnaya river near the town of Brest. Values of medium depth, width of the river on top and average speed at the rate of 95% availability have been given.

УДК 553.97

**Глушко К.А., Водчиц Н.Н., Шешко Н.Н.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ В ПЕРИОД ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ**

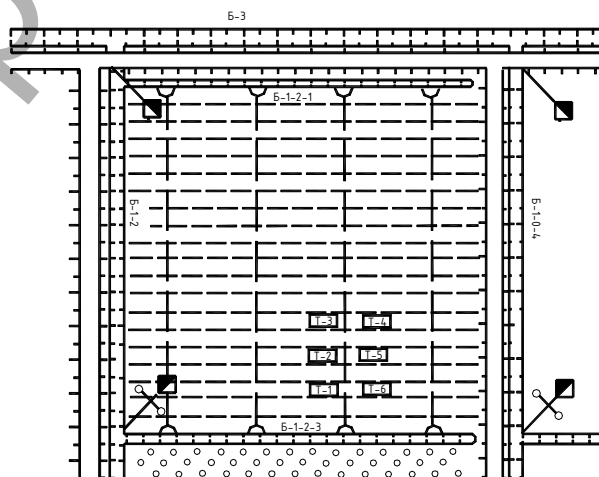
**Ведение.** Климатические условия зим последних лет в Республике Беларусь характеризуются высокой изменчивостью. Холодные периоды сменяются оттепелями в несколько циклов за зиму. В силу этого верхний деятельный слой почвы насыщается талой водой вплоть до полной влагоемкости. При соответствующих температурных условиях почвы высока вероятность возникновения водонепроницаемого слоя, препятствующего движению гравитационной влаги. Особенно эти процессы актуальны для осушенных торфяников, обладающих высокой теплоемкостью и низкой теплопроводностью. Поэтому прогнозирование и управление процессами перевода талых поверхностных вод в грунтовый сток в период весеннего половодья на осушенных торфяниках требует и выяснения природы происходящих фазовых процессов и выявления критериев их водопроницаемости.

Опытный участок площадью 100 га, находится в пойме р. Бобриск на территории Полесской опытно-мелиоративной станции. Схема опытного участка приведена на рисунке 1.

Почвы опытного участка и всего водосбора представлены среднечерными, глубиной 70±5 см, осоко-тростниковыми торфами со степенью разложения  $R = 40 - 50\%$ . Залегают они на мощной толще (50 м) песчаных отложений. Непосредственно подстилающими породами являются пески аллювиальных отложений. Границей раздела слоев является тонкий около 5 см мульчирующий слой торфа.

Основные статистические характеристики почвы в пределах опытного участка водосбора р. Бобриск выражены довольно равномерно, о чем свидетельствуют данные приведенные в таблице 1 и 2.

Образцы почвы для определения фазового состава отбирались с почвенных горизонтов мощностью 0–40 см, привязываясь к местам установки измерительного оборудования послойно через 10 см в двухкратной повторности.



**Рис. 1.** Схема опытного участка водосбора р. Бобриск Т-1, Т-2, Т-3, Т-4, Т-5, Т-6 – места установки оборудования

Начало экспериментальных исследований фазового перехода воды в лед в дисперсных средах было положено П.И. Андриановым [3], который показал, что вода переходит в лед в дисперсных средах при температуре ниже 0 °С. При температуре 0 °С и ниже замерзает только легко подвижная гравитационная вода. Связанная вода кристаллизуется при гораздо более низких температурах. При температуре -25–30 °С количество незамерзшей воды соизмеримо с количеством прочно связанной воды [1].

**Глушко Константин Александрович**, к.т.н., доцент кафедры сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

**Водчиц Николай Николаевич**, к.т.н., доцент, зав. кафедрой сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

**Таблица 1.** Статистические характеристики плотности почвы по профилям в пределах водосбора

Вид торфа	Глубина отбора образца, см	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Кoeffициент вариации	Среднее квадратичное отклонение	Точность опыта, %
Торф осоко-тростниковый	0-10	0,22	0,159	0,03	1,90
	10-20	0,24	0,156	0,03	1,87
	20-30	0,26	0,155	0,03	1,62
	30-40	0,19	0,130	0,02	1,70

**Таблица 2.** Статистические характеристики влажности почвы по профилям в пределах водосбора

Вид торфа	Глубина отбора образца, см	Средняя объемная влажность, %	Кoeffициент вариации	Среднее квадратичное отклонение	Точность опыта, %
Торф осоко-тростниковый	0-10	37,94	0,171	6,55	2,22
	10-20	43,32	0,163	5,456	2,15
	20-30	43,39	0,160	5,30	2,15
	30-40	50,58	0,109	4,62	1,07

Н.А. Цытович [4] сформулировал принцип равновесного состояния воды, на основе которого в дисперсных средах в незамерзшем состоянии находится количество воды, которое является функцией температуры и внешних условий, степени дисперсности, наличия минералогических включений, количества и состава растворенных солей. Более поздними исследованиями было установлено, что на количество незамерзшей воды оказывает влияние исходная влажность почвы [2]. Объясняется это тем, что содержание незамерзшей воды складывается из влаги адсорбированной частицами почвы, и влаги, находящейся на поверхности льда.

Установлено, что в мелкодисперсных материалах наиболее активно фазовые превращения протекают при температуре близкой к 0 °С в тоже время обнаружена часть незамерзшей влаги даже при -100 °С. Увеличение дисперсности почвы, т.е. ее порового пространства и солевого состава приводят к увеличению содержания незамерзшей воды.

Фазовый состав почвенной влаги определяет водные, тепловые свойства почвы, а также интенсивность перетока талых вод к уровню грунтовых вод.

В основу определения количества незамерзшей воды был положен калориметрический метод, разработанный Н.А. Цытовичем и З.А. Нересовой [5, 6]. Опыты проводились в гидрофизической лаборатории ГГИ на специально изготовленном для этой цели калориметре, принципиальная схема которого приведена на рисунке 1.

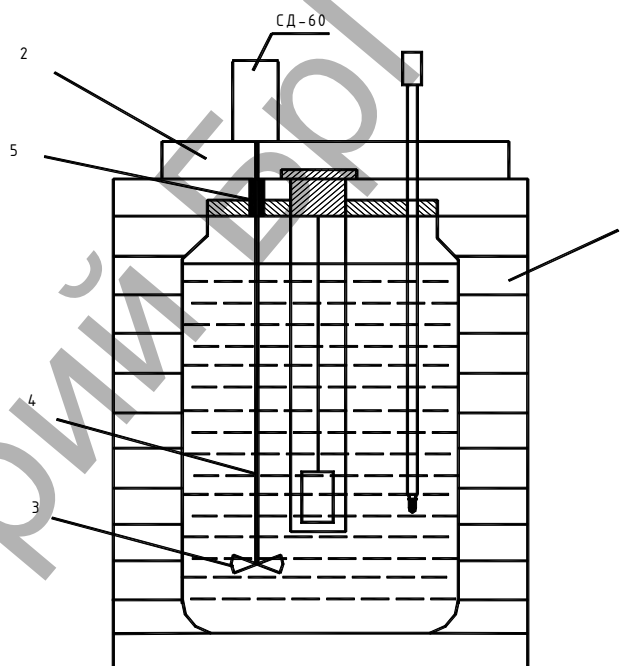
Главной частью калориметра является емкость объемом 1,5 литра в качестве которой был использован сосуд Дьюара, который помещался в теплоизолированную защиту 1, собранную из пенопластовых шайб. Сверху он накрывался пенопластовой крышкой на которой при помощи подставки 2 укреплен электромотор СД-60, приводивший в движение лопатки мешалки 3. Для предотвращения нагрева воды от электродвигателя ось мешалки 4 и втулка 5, в которой он вращается, выполнены из фторопласта. Ход температуры воды в калориметре регистрировался лабораторным термометром с точностью 0,05 °С.

Образцы исследуемой почвы помещались в тонкостенные (0,4–0,5 мм) латунные цилиндры, закрывались крышкой, а места соединения для достижения полной герметизации покрывались водостойким клеем БФ-88.

Для замораживания образцов почвы при калориметрировании использовалась специальная холодильная установка с холодильным агрегатом РКФ-09. Камера установки позволяла поддерживать температуру с точностью 0,05 °С от комнатной температуры до -25 °С.

Термическая выстойка образцов производилась в низкотемпературном холодильном столе НСЛ – 80. В камере выдерживалась любая температура от 0 до -70 °С с точностью 1,5 °С. Процесс определения незамерзшей воды осуществлялся в следующей последовательности:

1. Включалась мешалка калориметра за 20–30 минут до начала опыта.



**Рис. 2.** Принципиальная схема калориметра для определения количества незамерзшей воды

2. После установившегося падения температуры воды в калориметре не превышающего 0,01 °С за каждые 30 минут, снимался отсчет по термометру калориметра, а потом из шахты холодильной установки вынимался бюкс с образцом почвы и переносился в калориметр и сразу же включался секундомер.
3. Отсчет температуры воды в калориметре производился через каждые 2–3 минуты до тех пор, пока падение температуры не было меньше 0,01 °С.

Вычисление количества незамерзшей воды производилось по формуле:

$$L = \frac{c_e(M + \gamma_k) \cdot (t_n - t_k) - (t_n - t_{об})}{L + t_{об} / 2} + \frac{(\rho_e c_e + c_n \rho_n + c_b \rho_b)}{1}, \quad (1)$$

где  $c_e$  – теплоемкость бюкса;

$t_{об}$  – температура образца;

$M$  – масса воды в калориметре;

$\gamma_k$  – постоянная калориметра;

$\rho_e$  – количество воды в почве;

$\rho_b$  – вес бюкса;

$\rho_n$  – все сухой почвы.

**Таблица 3.** Массовая доля незамерзшей воды в осушенных торфяниках водосбора р. Бобрин в зависимости от температуры, %

Вид торфа	Плотность торфа, г/см <sup>3</sup>	Температура, °С						
		-0,5	-1,0	-2,0	-3,0	-5,0	-10,0	-15,0
Осоко-тростниковый	0,16	164	142	120	107	99	92	91
	0,18	149	135	113	102	91	88	84
	0,20	136	127	108	96	84	82	79
	0,22	132	121	102	90	78	76	74
	0,24	128	114	95	82	75	71	68
	0,26	118	106	84	74	70	65	63
	0,28	106	88	78	70	64	61	58

**Таблица 4.** Критическая влажность и критическая температура для осоко-тростниковых торфов водосбора р. Бобрин, %

Вид торфа	Плотность торфа, г/см <sup>3</sup>	Начальная критическая объемная влажность (в долях единицы) при критической температуре °С						
		-0,5	-1,0	-2,0	-3,0	-5,0	-10,0	-15,0
Осоко-тростниковый	0,16	0,83	0,805	0,76	0,73	0,695	0,665	0,635
	0,18	0,81	0,79	0,75	0,705	0,682	0,645	0,62
	0,20	0,80	0,78	0,73	0,70	0,665	0,63	0,60
	0,22	0,79	0,77	0,72	0,695	0,65	0,618	0,59
	0,24	0,78	0,75	0,695	0,67	0,638	0,585	0,57
	0,26	0,76	0,73	0,67	0,645	0,608	0,58	0,54
	0,28	0,75	0,72	0,63	0,615	0,60	0,56	0,52

По разности количества льда и общей влажности было вычислено количество незамерзшей воды в диапазоне температур от 0 до 15 °С. В таблице 3 приведены результаты лабораторных исследований по определению количества незамерзшей воды в осушенных торфяниках.

Зависимость содержания незамерзшей воды от температуры и плотности имеет вид:

$$W_{нз} = \frac{1}{0,0019 \cdot T + 0,0033 \cdot \rho} \quad (2)$$

где  $W_{нз}$  – содержание незамерзшей воды по отношению к массе сухого торфа, %;

$\rho$  – плотность торфа, г/см<sup>3</sup>;

$T$  – температура почвы, °С.

Формула дает удовлетворительные результаты для торфов плотностью от 0,12 до 0,36 г/см<sup>3</sup> и может быть использована для прогноза изменения содержания незамерзшей воды в процессе осушения и освоения болот. Анализ ее показывает, что наиболее активно фазовые превращения происходят при понижении температуры от 0 до -3 °С. Количество незамерзшей воды уменьшается в среднем на 15–16%, а максимальное снижение составляет 22% для торфа с максимальной плотностью. От -3 °С наблюдается некоторое затухание процесса и с -5 °С фазовые превращения принимают монотонно убывающий характер. Из анализа таблицы следует, что с ростом плотности торфа фазовые превращения более активны, а содержание незамерзшей воды уменьшается.

В процессе просачивания талой воды сквозь мерзлую почву протекающие фазовые превращения изменяют не только живое сечение потока, но водные и тепловые свойства почвы. Талая вода, проникая в почву, охлаждается и кристаллизуется. Выделяющееся при кристаллизации легкоподвижной влаги тепло передается почве, присутствующей влаге и температура их повышается. Дальнейшее развитие процесса инфильтрации зависит от запаса холода в почве. Если он незначительный, то при дальнейшем притоке талой воды и тепла с ним процесс закупорки крупных пор приостанавливается, а затем прекращается. Имеет место неустановившейся фильтрация талых вод с развитием процесса во времени.

В случае, если запас холода в почве большой, то талая вода, отдавая свое тепло, кристаллизуется, повышая при этом температуру почвы, но имеющегося притока тепла недостаточно для оттаивания почвы. Оттаивает только связанная вода не участвующая в процессах фильтрации. Происходит постепенное наращивание льда в

порах вплоть до их полной закупорки, образуется водонепроницаемый слой. Его мощность определяется тепловыми характеристиками почвы, количеством незамерзшей воды, влажности и температуры. Влажность и температуру, при которых он возникает водонепроницаемый слой, называют критическими. Критическую начальную влажность рассчитывают, задавая начальную температуру используя теплофизический метод [1] по формуле:

$$W_{нк} = (L + c_e \cdot T_n) [P \cdot \rho_n + \rho \cdot W_{нз}(0) \cdot (1 - \rho_n / \rho_e)] + [c_n + W_{нз}(T_k) \cdot (c_e - c_n)] \rho \cdot T_k - L \cdot \rho [W_{нз}(0) - W_{нз}(T_k)] \quad (3)$$

$$\rho(L + c_e \cdot T_n - c_n T_k)$$

где  $L$  – удельная теплота плавления льда;

$c_e, c_n, c_n$  – теплоемкость воды, почвы, льда;

$W_{нз}(0), W_{нз}(T_k)$  – количество незамерзшей воды при температуре 0°С и  $T_k$  в г/г сухой почвы;

$\rho, \rho_n, \rho_e$  – плотность, почвы, льда и воды;

$P$  – общая пористость почвы.

Задавая критической температурой и используя полученные данные по количеству незамерзшей воды, приведенные в таблице 3, по формуле (3) была рассчитана критическая влажность для осоко-тростниковых торфов водосбора р. Бобрин. Результаты приведены в таблице 4.

Из таблицы следует, что с снижением критической температуры значение критической влажности также снижается. Данная закономерность прослеживается для торфа по всему спектру представленной плотности. Однако можно заметить, что градиент влажности более высокий для торфов с высокой плотностью. Например, для торфа с плотностью 0,16 г/см<sup>3</sup> он равен 0,013 1/°С, а для торфов с плотностью 0,28 г/см<sup>3</sup> он равен 0,015 1/°С. Это следует из того, что теплопроводность более минерализованных торфов выше и возможность возникновения водонепроницаемого слоя возрастает.

Использование данной методики позволяет оценить возможность возникновения водонепроницаемого слоя в точке. Для того, чтобы перейти от точки к водосбору следует провести комплекс полевых исследований по определению влажности почвы по профилю пахотного слоя, измерить температурный режим. Выполнение этого комплекса полевых исследований позволит прогнозировать возможность возникновения водонепроницаемого слоя, объем впитывания талой воды, объем поверхностного стока, продолжительность затопления сельскохозяйственных культур и площадь затопления.

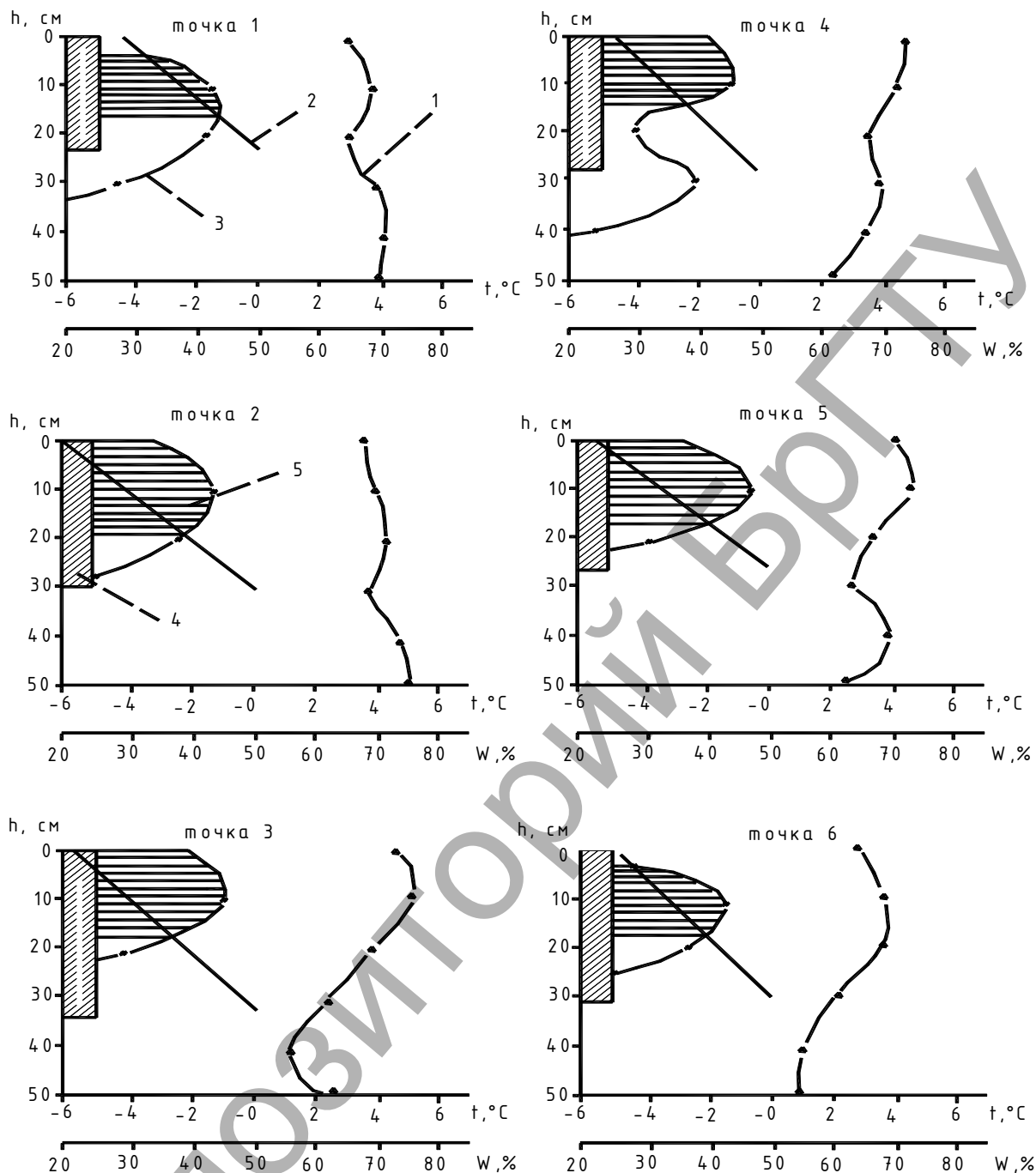


Рис. 3. К определению прогнозной мощности водонепроницаемого слоя

На основании полученных результатов произведена оценка возможности возникновения водонепроницаемого слоя и его мощности на водосборе р. Бобрин по данным исследований характерного 2009 года. Результаты приведены на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3, водонепроницаемый слой сформировался на всех шести точках наблюдения. При этом следует отметить, что водонепроницаемый слой может сформироваться как на глубине (точка 1 и 6), так и на поверхности (точки 2-5). В силу однородности температурных условий, водно-физических и тепловых свойств исследуемого торфяника, мощность водонепроницаемого слоя по точкам измерения колеблется в небольших пределах, от 12,5 до 18,5 см. Анализируя все варианты возникновения водонепроницаемого слоя необходимо также отметить, что формирование водонепроницаемого слоя происходило при влажности торфа не ниже 0,77 Вт.в. и при температуре от -1,0 °С и ниже. Данные значе-

ния влажности и температуры могут использоваться для предварительной оценки состояния водосбора в предвесенний период.

**Заключение.** Фазовые процессы почвенной влаги, происходящие при промерзании торфов, наиболее активно протекают при температуре от 0 до -3 °С. Накопление льда в торфе по мере накопления холода возрастает. При определенных соотношениях влажности и температуры торфа возможно возникновение водонепроницаемого слоя. Предварительный прогноз возможности возникновения водонепроницаемого слоя для тростниково-осоковых торфов можно дать по результатам измерения влажности по отношению к 0,77 Вт.в и температуры. Водонепроницаемый слой может возникнуть как на поверхности почвы, так и на глубине. Возникновение водонепроницаемого слоя приводит к выполнению весенних полевых работ в более поздние сроки, к вымочкам озимых и многолетних трав.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Калюжный, И.Л. Гидрофизические исследования при мелиорации переувлажненных земель / И.Л. Калюжный, К.К. Павлова, С.А. Лавров – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – С. 44-59.
2. Ананян, А.А. Оценка средней толщины пленок в воды в талых и мерзлых тонкодисперсных породах. – В кн.: Связанная вода в дисперсных системах. – М., 1972. – Вып. 2. – С. 106–114.
3. Андрианов, П.И. Тр. Ин-та мерзлотоведения. – М., 1946. – Т. 3. – 138 с.
4. Цытович, Н.А. К теории равновесного состояния воды в мерзлых грунтах. – Изв. Пн СССР. Сер. геофиз. и географ., 1945. – Т. 9, 5. – С. 493–502.
5. Цытович, Н.А. О незамерзшей воде в рыхлых горных породах. – Изв. АН СССР. Сер. геол., 1947. – № 3. – С. 16–19.
6. Нересова, З.А. Инструктивные указания по определению количества незамерзшей воды и льда в мерзлых грунтах. – В кн.: Материалы по лабораторному исследованию мерзлых грунтов. – М., 1954. – Вып. 2. – С. 88–77.

Материал поступил в редакцию 08.02.11

#### GLUSHKO K.A., VODCHITS N.N., SHESHKO N.N. The investigation of the phase composition of soil moisture and its influence on the permeability to water of drained peat-bogs during flood period

The results of the determination of the phase composition of water in drained peat-bogs of the Bobrik River watershed are stated and graphic dependences for the determination of the prognosis power of the impervious to water stratum are built.

УДК 504.43/45.711.4

**Пеньковская А.М., Булак И.А.**

### АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В БАССЕЙНЕ Р. НЕМАН И ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

**Введение.** Одной из приоритетных проблем, рассматриваемых в схемах комплексного использования и охраны водных ресурсов (СКИОВР), является оценка экологического состояния водных объектов и определение целевых показателей качества воды.

В настоящее время оценка экологического состояния водных ресурсов выполняется параллельно по двум направлениям - количественному и качественному [1].

Оценка экологического состояния по количественному направлению сводится к расчётам водохозяйственных балансов. Для классификации (оценки) экологического состояния по степени использования водных ресурсов наиболее информативными являются такие характеристики, как коэффициент использования речного стока (КИР), коэффициент безвозвратного водопотребления (КБВ) и др. [2].

Оценка качества воды для различных видов водопользования, основанная на сопоставлении результатов исследований в отдельных точках водного объекта химического состава, физических свойств и других характеристик воды с соответствующими нормативными показателями её качества является недостаточной для объективной оценки качества воды изучаемого водного объекта.

Общее число известных методов комплексных оценок качества достаточно велико, но ни один из них не отражает всего многообразия свойств водного объекта.

В настоящее время в республике с целью компактного представления значения качества воды, т.е. выражения качества не более, чем одной-двумя числовыми характеристиками, выполняются расчёты индексов загрязнённости воды (ИЗВ), рассчитываемые как среднеарифметическое значение шести приоритетных показателей в долях соответствующих предельно допустимых концентраций (ПДК), и гидробиологические показатели, оценивающие состояние водных экологических систем с использованием стандартных индексов (сапробности, видового разнообразия и т.д.).

По сути, классификация водных объектов по экологическому состоянию отсутствует.

В международной практике при классификации водных объектов в основу положены основные принципы Водной Рамочной Директивы (ВРД), которая предусматривает несколько типов классификации водных объектов. С целью оценки состояния водного объекта для каждого типа поверхностных вод должны определяться эталонные

объекты сравнения (эталонные условия) по гидроморфологическим, биологическим и физико-химическим показателям. Эталонные условия должны соответствовать высшему экологическому статусу (высокое качество экологического состояния) [3].

В целях гармонизации республиканских подходов к оценке экологического состояния водных объектов с международной практикой, в РУП «ЦНИИКИВР» выполнена работа по определению эталонных показателей и классификации речных вод по пятиклассной системе [4]. Предложенная в этой работе методика использована для оценки экологического состояния основных водотоков бассейна р. Неман.

**Классификация речных вод в бассейне р. Неман.** Оценка экологического состояния речных экосистем в бассейне р. Неман основана на использовании эталонных показателей, приведенных в таблице 1. Для определения класса качества водотоков параметры одинаковой природы или одинакового действия объединены в 11 подгрупп показателей качества, которые в свою очередь объединены в 2 группы: физико-химические (органические и окисляемые вещества, азотсодержащие вещества, нитраты, фосфорсодержащие вещества, взвешенные вещества, минерализация, окисление, металлы, загрязняющие вещества) и биологические (фитоперифитон, макрозообентос) показатели качества воды.

Анализ проведен для всех пунктов наблюдений в бассейне р. Неман, по которым имеются совместные наблюдения за химическим и гидробиологическим состоянием речных вод. Оценка качества водотоков произведена по данным за 2009 год.

После статистической обработки данных наблюдений за качеством воды и выбраковки сомнительных данных выбирались наихудшие значения по каждому параметру из наблюдаемых в течение года.

Определение класса качества водотока включало в себя определение класса качества каждого параметра (по таблице 1), затем наихудший из классов параметров определял класс качества подгруппы. Следующий шаг – определение класса качества групп - проходил двумя способами. Для группы физико-химических показателей класс качества воды определялся с помощью баллов, присвоенных соответствующим 9 подгруппам в соответствии с [4]. Класс качества группы биологических показателей определялся классом качества составляющей его единственной подгруппы. Класс качества водотока определялся по наихудшему классу групп [4].

**Пеньковская А.М.**, зав. сектором использования водных ресурсов РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», [asyap@rambler.ru](mailto:asyap@rambler.ru).

**Булак И.А.**, аспирант, РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», [i\\_bulak@mail.ru](mailto:i_bulak@mail.ru).

Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология