

## ВЛИЯНИЕ ВОДНОЙ И ОКОЛОВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ КАНАЛОВ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЮЖНОЙ ЧАСТЕЙ БЕЛАРУСИ

*А. И. Ракицкий, инженер-исследователь*

*г. Пинск, Беларусь*

### Аннотация

Рассмотрены данные исследований по влиянию водной и околководной растительности на уровеньный режим канала в период минимального стока. Подобраны имитационные модели на основании полевых исследований в среде HEC-RAS с применением формулы Шези. Проведены численные эксперименты с использованием имитационной модели для получения новых данных о влиянии водной растительности на параметры водного потока. Полученные результаты позволяют сделать выводы, что существующие водные ассоциации в период минимального стока способны создать значительные гидравлические сопротивления по руслу канала и повысить уровни стока более чем в два раза.

**Ключевые слова:** канал, водная растительность, уровни водотока, минимальный сток, модель потока.

### Abstract

*A. I. Rakitsky*

#### INFLUENCE OF AQUATIC AND NEAR-WATER VEGETATION ON THE LEVEL REGIME OF CANALS OF DRAINAGE SYSTEMS IN THE CENTRAL AND SOUTHERN PARTS OF BELARUS

The article considers empirical data on the influence of aquatic and near-water vegetation on the level regime of the canal during the period of minimum flow. Based on field studies in the HEC-RAS environment and the Chezy formula, simulation models were selected. Using a simulation model, numerical experiments were carried out to obtain new knowledge in the field of understanding the influence of aquatic vegetation on the parameters of a watercourse. The results obtained allow us to conclude that the existing water associations during the period of minimum flow are capable of creating significant hydraulic resistance along the canal bed and more than doubling the flow levels.

**Keywords:** canal, aquatic vegetation, watercourse levels, minimum flow, flow model.

### Введение

Природно-климатические условия Беларуси сложились таким образом, что сельское хозяйство находится в зоне рискованного земледелия. Неблагоприятные погодные условия в стране приводят к уменьшению валового продукта на 15–20 %, производства мяса и молока – на 10–15 % и колебанию валового сбора зерновых в диапазоне от 5,5 до 9,5 млн т. Доля ущерба сельского хозяйства от климатических изменений в общей структуре ущерба составляет более 40 % [1].

Исследования последних лет в области прогнозирования изменения климата в Беларуси до 2099 г. указывают на повышение температуры воздуха, перераспределение осадков в пользу холодного периода, теплых зим, на увеличение количество «волн жары» и изменение агроклиматических зон с вытес-

нением первой зоны и преобладанием 4- и 3-й зон [2]. Оценка прогноза биологической продуктивности в баллах (Бк) показал, что он прирастет на 15–30 баллов [3].

В природно-климатических условиях Беларуси выделены следующие основные факторы, влияющие на урожайность: питание, почвенная влага, тепло (перечислены по мере убывания значимости) [4]. Повлиять на количество осадков и сумму положительных температур в вегетативный период на больших площадях очень сложно и затратно. Общая площадь мелиорированных земель – около 3454,8 тыс. га, в том числе осушенных сельскохозяйственных земель – 2846,1 тыс. га (82,4 %), осушительно-увлажнительных систем – 752,9 тыс. га (21,8 %) и оросительных – 30,3 тыс. га (0,9 %). Более 60 % осушенных сельскохозяйственных

земель приходится на Брестскую и Гомельскую области. Половина мелиорируемых сельскохозяйственных угодий занимают земли с песчаными и супесчаными почвами [5].

Климатические условия Беларуси в течение периода инструментальных наблюдений неоднородны, и это смещает сельскохозяй-

### Методы исследований

Представляем результаты экспериментальных полевых исследований по влиянию водной растительности на уровенный режим водного потока и замедление его стока с целью подъема уровня воды для подпочвенного увлажнения осушенных сельскохозяйственных земель.

На первом этапе изучалось влияние жесткостебельных растений – тростника (*Phragmites*) и кубышки желтой (*Nuphar lutea*) [6]. Затем исследовались возможности в замедлении стока мягкостебельных урути колосистой (*Myriophyllum spicatum* L.), разновидности рдеста (*Potamogeton*), ряски малой (*Lemna minor* L.), сусака (*Butomus*) и других представителей водной растительности.

Исследования проводились с мая по июль 2022 г. на канале Я-6 осушительной системы «Путь к коммунизму» Пинского р-на Брестской обл. Протяженность исследуемого канала составила 1,66 км от устья канала и до трубы-переезда на автомобильной дороге Р-6.

Канал Я-6 является проводящим каналом, его трасса проходит по минеральным грунтам (пески), средняя глубина канала – 1,57 м, средняя ширина по верху – 6,28 м. Высотные отметки по створам получены путем нивелирования с закреплением пикета на бровке канала. На исследуемом участке канала выде-

ственную отрасль в зону рискованного земледелия. Зная тренды климатических изменений, можно предусмотреть ряд технических мероприятий, которые адаптируют осушительные системы под погодные условия, что снизит неблагоприятное влияние климата на урожайность сельскохозяйственных культур.

лены шесть створов, расстояние между которыми от 205 до 295 м. Уровень воды в канале вычислен путем измерения горизонтального и вертикального расстояний от пикета до уреза воды. Отметки пикетов определены по ходу нивелирования сечений канала.

На основании данных полевых исследований получена эмпирическая модель уровенного режима водотока. С использованием формулы Шези и пакета HEC-RAS для гидравлического расчета открытого водотока сформированы имитационные модели, которые с достаточным для практики приближением позволяют моделировать процессы перемещения воды в каналах и рассчитать параметры потока. Возможности и адекватность моделей гидравлических потоков, реализованных в среде HEC-RAS, а также точность расчетов, обсуждались ранее [7]. С применением имитационной модели проведены численные эксперименты для получения данных о влиянии водной растительности на параметры водотока. Результаты численных экспериментов позволяют говорить о производственных возможностях управления уровенным режимом в каналах осушительной системы с помощью и мягкостебельных водных, и околводных травянистых растений.

### Основная часть

Расходы воды по руслу канала в расчетные периоды представлены в табл. 1. Расходы воды расчетных периодов определены по методике, изложенной в [8].

Фактический расход воды в створе канала определен по формуле:

$$Q = w \cdot v, \quad (1)$$

где  $Q$  – расход воды в створе, м<sup>3</sup>/с;

$w$  – площадь поперечного сечения потока в створе, м<sup>2</sup>;

$v$  – скорость потока в створе, м/с;

Фактическая площадь поперечного сечения потока для каждого створа вычислена как сумма площадей геометрических фигур (треугольник, трапеция); глубина вертикали и горизонтальное положение уреза определены инструментально.

Скорость потока воды для каждого створа вычислялась по формуле:

$$v = \frac{S}{t}, \quad (2)$$

где  $v$  – скорость потока, м/с;

$S$  – путь, м;

$t$  – время, с.

Определение скорости потока выполнено путем фиксации на видеокамеру перемещения

подкрашенного пятна в водном потоке вдоль нивелирной рейки, время в пути – как разность времени начального и конечного видеокadra.

Фактические расходы воды за весь период исследования, определенные по формуле (1), представлены в табл. 2.

Состояние канала Я-6 за период исследования отображено на рис. 1–3.

Наиболее часто встречающиеся виды водных растений отображены на рис. 4.

Таблица 1. Расчетные расхода воды по каналу Я-6

Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Расход, м <sup>3</sup> /с			
		Весенний паводок, P = 10 %	Предпосевной период, P = 10 %	Летне-осенний паводок, P = 10 %	Среднемеженный, P = 50 %
0	9,5	2,05	0,17	0,78	0,017
2,0	8,15	1,81	0,15	0,69	0,015

Таблица 2. Гидравлические показатели потока по каналу Я-6

Дата	Створ	Живая площадь потока, м <sup>2</sup>	Скорость потока, м/с	Расход, м <sup>3</sup> /с
28 мая 2022 г.	1	1,264	0,157	0,199
	2	1,228	0,1	0,123
	3	1,233	0,08	0,099
	4	1,02	0,089	0,091
	5	1,52	0,084	0,128
	6	1,405	0,056	0,084
	<b>Среднее</b>	<b>1,278</b>	<b>0,094</b>	<b>0,121</b>
19 июня 2022 г.	1	0,737	0,056	0,041
	2	0,969	0,034	0,033
	3	0,885	0,015	0,013
	4	0,725	0,04	0,029
	5	1,266	0,017	0,022
	6	1,213	0,029	0,035
	<b>Среднее</b>	<b>0,966</b>	<b>0,032</b>	<b>0,029</b>
09 июля 2022 г.	1	0,435	0,069	0,03
	2	0,602	0,042	0,025
	3	0,552	0,036	0,02
	4	0,456	0,05	0,023
	5	0,953	0,022	0,021
	6	0,93	0,031	0,029
	<b>Среднее</b>	<b>0,655</b>	<b>0,042</b>	<b>0,025</b>



Рис. 1. Вид канала Я-6 на исследуемом участке (28 мая 2022 г.):  
 а) устье канала; б) створ 1; в) створ 2; г) створ 4; д) створ 5; е) вид с дороги Р-6



Рис. 2. Вид канала Я-6 на исследуемом участке (19 июня 2022 г.):  
 а) вид с дороги Р-6; б) створ 6; в) створ 4; г) створ 2 (вверх по течению); д) створ 2; е) створ 1



Рис. 3. Вид канала Я-6 на исследуемом участке (9 июля 2022 г.):  
а) устье канала; б) створ 2; в) створ 4; г) створ 5; д) створ 6; е) вид с дороги Р-6



Рис. 4. Водная растительность по руслу канала Я-6 на исследуемом участке (9 июля 2022 г.):  
а) группа рдеста курчавого; б) группа рдеста плавающего и ряски; в) рдест курчавый;  
г) рдест плавающий; д) длина стебля рдеста плавающего; е) длина стебля урути колосистой

Ассоциации водной растительности по каналу Я-6 на исследуемом участке описаны в табл. 3.

Таблица 3. Ассоциации водной растительности канал Я-6 (по створам)

Створ	Расстояние от устья, м	Правый берег	Дно	Левый берег
1	205	Осока береговая	Ряска малая, рдест курчавый, рдест плавающий,	Осока береговая
2	445	Осока береговая, камыш у воды, хвощ у бровки	Ряска малая, рдест курчавый,	Осока береговая, камыш у воды
3	740	Осока береговая	Ряска малая, рдест курчавый	Осока береговая, крапива
4	1034	Осока береговая	Ряска малая, рдест курчавый	Осока береговая
5	1252	Осока береговая, разнотравье	Ряска малая, рдест курчавый, камыш, хвощ речной	Осока береговая, разнотравье
6	1427	Осока береговая, разнотравье	Ряска малая, рдест курчавый, камыш, хвощ речной	Осока береговая, разнотравье

Из рис. 1–4 можно грубо оценить рост водных растений в канале. Нарастание происходило достаточно активно, и за 42 дня произошло снижение расхода стока с 0,121 до 0,025 м<sup>3</sup>/с на фоне увеличения степени зарастания сечения и поверхности водного потока. Наиболее распространенным видом растительности оказались ряска малая (*Lemna minor* L.), рдест курчавый (*Potamogeton crispus* L.), рдест плавающий (*Potamogeton natans* L.), уруть колосистая (*Myriophyllum spicatum* L.). Периодически встречались тростник обыкновенный (*Phragmites Australis*), сусак зонтичный (*Butomus umbellatus*), хвощ речной (*Equisetum fluviatile*), осока береговая (*Carex riparia* Curt.) и другие виды водных ассоциаций.

Видовой состав водной растительности, распространенный на канале Я-6, разнообразен, что естественно и типично для региона. В снижении пропускной способности русла принимает участие каждый вид водных растений, поэтому важно рассматривать совокупное влияние травянистых зарослей на расходный и уровенный режимы водотока как многофакторное обобщенное влияние всех ассоциаций, произрастающих в зоне канала. Особый интерес представляют физические размеры и плотность произрастания водных растений на квадратный метр как факторы, определяющие гидравлическое сопротивление потоку в

русле канала. К таким растениям на исследуемом участке канала были отнесены ряска малая, рдест курчавый, рдест плавающий, уруть колосистая.

*Ряска малая* относится к водным растениям; семейство – рясковые, род – ряска, вид – маленькая. Растет в стоячих или медленно текущих водах (на болотах, озерах, прудах, каналах). Ряска малая распространена по всей территории Беларуси [9]. В осенний период погружается на дно водоема, где взрослые части отмирают, а молодые остаются жизнеспособны. Весной всплывают на поверхность воды и активно развиваются. В естественных условиях вегетация ряски имеет сезонный характер, ее наибольшее значение приходится на середину лета, минимальные – на весну и осень. Скорость ее размножения с мая по июль увеличивается почти в 3 раза, в сентябре не превышает значения весеннего периода роста. Длина листеца 3–4,5 мм, ширина 2–3 мм, форма округло-эллиптическая.

*Рдест курчавый* относится к водным растениям, семейство – рдестовые, род – рдест, вид – курчавый. Растет в медленно текущих водах (на озерах, прудах, каналах, заливах, редко в реках). Рдест курчавый распространен по всей территории нашей страны. Стебель длиной от 30 до 100 см, сильноветвистый, корневище тонкое. Все листья, погруженные в воду,

имеют форму широколинейную, линейно-ланцетовидную и ланцетовидную, их длина 4–9 см, ширина 0,7–1,3 см [9].

*Рдест плавающий* относится к водным растениям, семейство – рдестовые, род – рдест, вид – плавающий. Растет в озерах, прудах, каналах и заводях, реже в ручьях и реках. Рдест плавающий распространен по всей территории Беларуси. Цветет с июня по август. Длина стебля от 30 до 120 см, сильноветвистый; корневище длинно-ползучее. Погруженные листья – линейные, полуцилиндрические, их длина – до 5 см, ширина – до 1 см. Плавающие листья продолговатые, эллиптические или яйцевидные длиной до 12 см и шириной 5,5 см [9].

*Уруть колосистая* относится к водным растениям, семейство – сланягодниковые, род – уруть, вид – колосистая. Растет в стоячих или медленно текущих водах. Распространена по всей территории Беларуси. Цветет в июне – августе. Длина стебля от 40 до 200 см. Листья погружены в воду, их длина от 1,5 до 3,5 см, они собраны в мутовки по 4 штуки [10].

У названных видов водной растительности можно выделить следующие особенности: ряска малая способна на больших участках покрывать водную гладь водотока (до 100 %), что приводит к переходу течения потока с поверхности в глубину; рдест плавающий /курчавый и уруть колосистая так же, как и ряска, покрывают водную гладь, что трансформирует поверхностное течение в глубинное, поскольку их листья практически находятся наверху, что создает условия для задержания ряски. Стебли рдеста и урути колосистой имеют большую длину, которая кратно превышает глубину воды в русле (в нашем случае в 3–5 раза); они создают сплошные заросли не только на поверхности, но и в глубине потока. Такое расположение стеблей и листьев водной растительности по руслу создает гидравлическое сопротивление, что приводит к уменьшению пропускной способности и повышению уровня стока. Пик накопления биомассы у ряски, рдеста и урути приходится преимущественно на июнь – июль. В этот период года сток по каналу снижается до минимальных значений [11], следовательно, в эти месяцы будут наблюдаться максимальные значения гидравлического сопротивления от водных растений.

Все вышерассмотренные растения пригодны к использованию для торможения местного стока и увлажнению площадей осушительных систем. Их биологические особенности и сроки накопления максимальной биомассы (а значит, и максимального гидравлического сопротивления) приходятся на время, когда вероятность потребности в увлажнительных мероприятиях на осушительных системах максимальная [6].

Гидравлический расчет открытого канала с множеством расчетных вариантов, где форма поперечного сечения в каждом створе криволинейная и отличается между собой по длине водотока, – сложная и трудоемкая задача. С целью экономии времени и исключения ошибок в расчете гидравлический расчет выполнен в среде *Hydrologic Engineering Center's – River Analysis System* (HEC-RAS). Методология и точность расчета в среде HEC-RAS рассмотрена ранее [7]. За расчетную формулу принята формула Шези, приведенная в [7]:

$$Q = C \cdot w \cdot \sqrt{R \cdot i}, \quad (3)$$

где  $Q$  – расход, м<sup>3</sup>/с;

$C$  – коэффициент Шези, м<sup>0,5</sup>/с;

$w$  – площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>;

$R$  – гидравлический радиус, м;

$i$  – гидравлический уклон.

В формуле (3) все переменные известны (расход и параметры русла определены эмпирически), за исключением коэффициента Шези, который определен по формуле Р. Маннинга (4):

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}, \text{ м}^{0,5}/\text{с}, \quad (4)$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости.

В формуле (4) присутствует переменная  $n$ , которая характеризует гидравлическое сопротивление русла. В справочниках, научных публикациях отсутствуют значения коэффициента шероховатости для состояния русла, наблюдаемого в период наших исследований. Для определения коэффициента шероховатости  $n$  по данным, полученным в период исследования, исходя из формулы (3), выразим  $C$ . Из правой части формулы (4) получим следующее выражение:

$$\frac{R^{1/6}}{n} = \frac{Q}{w \cdot \sqrt{R \cdot i}}. \quad (5)$$

Выразив неизвестный параметр  $n$  путем математического преобразования и заменив  $R$  на  $w/x$ , так как

$$R = \frac{w}{X}, \text{ м}, \quad (6)$$

где  $X$  – смоченный периметр, м, получим формулу следующего вида:

$$n = \frac{w^{1,667} \cdot \sqrt{i}}{X^{0,667} \cdot Q}. \quad (7)$$

Коэффициент шероховатости  $n$ , вычисленный по формуле (7), отражает фактическое гидравлическое сопротивление по руслу канала.

Результаты рассчитанного коэффициента шероховатости по формуле (7) и определенного в среде HEC-RAS для трех периодов и шести створов, сведены в табл. 4.

Количественное отклонение  $n$ , вычисленных по (7), достигает следующих значений: в 59,8 раза (май); в 5,3 раза (июнь); в 4,3 раза (июль); для HEC-RAS: в 2,7 раза (май); в 2,4 раза (июнь); в 3,1 раза (июль). Также наблюдается отклонение значений  $n$  между (7) и

средой HEC-RAS, только в створе 1 и створе 5 для всех периодов минимальное отклонение: в 1,1 и 2,5 раза (май); 1,1 и 1,1 раза (июнь); 1,1 и 1,4 раза (июль).

Если разбежка значений  $n$  по створам имеет отклонение, отличающиеся в разы, то средние значения  $n$  близки между собой и имеют небольшие отклонения. Так, для мая – в 1,7 раза, для июня – в 1,1 раза, для июля – в 1,4 раза.

Основным фактором, влияющим на такой большой разброс значений  $n$ , является водная растительность по руслу, так как в каждом створе она имеет разную площадь зарастания и отличается самым своим строением. Судить о влиянии водной растительности по створам сложно ввиду того, что значения по створам отличаются между собой в десятки раз, что не скажешь о средних значений  $n$  на исследуемом участке канала. Разница значений  $n$ , вычисленных по формуле (7) и среде HEC-RAS, связана со структурой формул, используемых в расчетах.

Таблица 4. Рассчитанные коэффициенты шероховатости

Параметр	Створ						Среднее значение
	1	2	3	4	5	6	
28 мая 2022 г.							
Уклон дна, $i$	0,00024	0,00075	0,00105	0,00017*	0,00009	0,0012	0,00058
Расход, $Q$	0,199	0,123	0,099	0,091	0,128	0,084	0,121
Живая площадь потока, $w$	1,264	1,228	1,233	1,02	1,52	1,405	1,278
Смоченный периметр, $X$	3,57	3,34	3,53	3,39	3,9	3,79	3,59
Гидравлический радиус, $R$	0,354	0,368	0,349	0,301	0,39	0,371	0,355
Коэф. шероховатости, $n$ (7)	0,050	0,140	0,200	0,060	0,061	0,299	0,136
Коэф. шероховатости, $n$ (HEC-RAS)	0,055	0,6**	0,04	0,1	0,15	0,06	0,081***
19 июня 2022 г.							
Уклон дна, $i$	0,00024	0,00075	0,00105	0,00017*	0,00009	0,0012	0,00058
Расход, $Q$	0,041	0,0325	0,0131	0,029	0,0219	0,0351	0,029
Живая площадь потока, $w$	0,737	0,969	0,885	0,725	1,266	1,213	0,966
Смоченный периметр, $X$	3,061	2,895	3,175	3,463	3,817	3,639	3,34
Гидравлический радиус, $R$	0,241	0,335	0,279	0,209	0,332	0,333	0,288
Коэф. шероховатости, $n$ (7)	0,109	0,393	0,934**	0,115	0,265	0,575	0,221***
Коэф. шероховатости, $n$ (HEC-RAS)	0,12	20**	0,17	20**	0,29	0,25	0,208***

9 июля 2022 г.							
Уклон дна, $i$	0,00024	0,00075	0,00105	0,00014*	0,00009	0,0012	0,00058
Расход, $Q$	0,03	0,025	0,02	0,023	0,021	0,029	0,025
Живая площадь потока, $W$	0,435	0,602	0,552	0,456	0,953	0,93	0,655
Смоченный периметр, $X$	2,53	2,45	2,796	2,757	3,646	3,364	2,924
Гидравлический радиус, $R$	0,172	0,246	0,197	0,165	0,261	0,276	0,22
Коэф. шероховатости, $n$ (7)	0,070	0,259	0,303	0,070	0,178	0,471**	0,176
Коэф. шероховатости, $n$ (HEC-RAS)	0,08	15**	0,06	1**	0,25	0,12	0,128***

Примечания: \* принят уклон водной поверхности, так как уклон дна на этом участке отрицательный; \*\* значения исключены из определения среднего значения, так как они аномальны; \*\*\*среднее значение определено без учета аномальных.

Полученные значения коэффициента шероховатости отображают гидравлическое сопротивление в русле канала. В течение года сток по мелиоративным каналам неоднороден и имеет как максимальные, так и минимальные значения. К минимальному стоку для мелиоративных каналов отнесен расход среднемеженный, обеспеченностью  $P = 50\%$  (далее – СМ 50 %) [12]. Зная расчетные расходы и коэффициенты шероховатости, можно определить уровни воды в канале при пропуске стока (СМ 50 %), используя коэффициенты

шероховатости естественные (определенные опытным путем) и эксплуатационные. За эксплуатационные коэффициенты шероховатости приняты следующие значения: откос канала  $n = 0,033$ , дно канала  $n = 0,025$  [12].

Расчет выполнен с использованием HEC-RAS для состояния канала в период вегетации водной растительности (июль); результаты расчеты показаны в табл. 5.

По данным табл. 5 построен график уровней стока по каналу (рис. 5).

Таблица 5. Естественные и эксплуатационные уровни воды

Наименование	Створ						Среднее	
	1	2	3	4	5	6		
Расход СМ 50 %, м <sup>3</sup> /с	0,0168	0,0165	0,0163	0,016	0,0158	0,0155	0,0162	
Отметка, м	Берег канала	138,23	138,15	137,95	138,3	138,27	138,17	138,18
	Дно канала	136,33	136,38	136,56	136,87	136,76	136,78	136,95
	СМ 50 % (естественные)	136,52	136,76	136,81	137,05	137,11	137,13	136,90
	СМ 50 % (эксплуатационные)	136,45	136,52	136,65	136,95	136,96	136,97	136,75

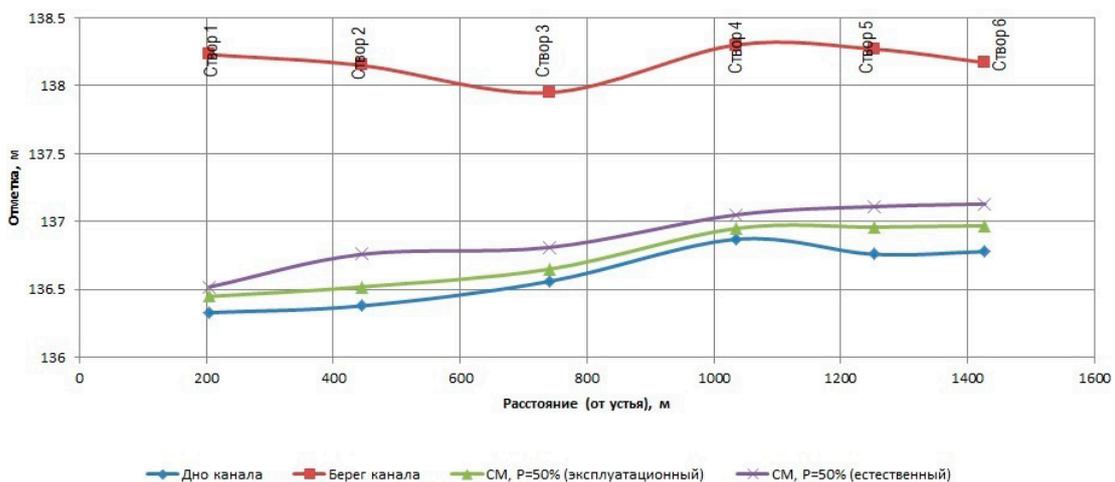


Рис. 5. Естественные и эксплуатационные уровни стока (СМ 50 %) по каналу Я-6

Для количественной оценки влияния водной растительности на уровенный режим водотока на основании данных табл. 6 построим график глубины уровня СМ 50 % для естественных и эксплуатационных уровней и покажем разницу ( $\Delta$ ) между ними (рис. 6).

Анализируя обобщенные данные табл. 6 и рис. 6, можно сделать вывод о том, что водные

ассоциации по каналу Я-6 оказывают влияние на уровенный режим водотока СМ 50 % от 58 до 177,8 % (1,6–2,3 раза). Данные значения указывают на существенное влияние водной растительности на пропускную способность водотока для среднемеженного стока 50 %-й обеспеченности.

Таблица 6. Глубина воды расхода СМ 50 %

Наименование	Створ						Среднее значение
	1	2	3	4	5	6	
Глубина СМ 50 % (естественный), м	0,19	0,38	0,25	0,18	0,35	0,35	0,28
Глубина СМ 50 % (эксплуатационный), м	0,12	0,14	0,09	0,08	0,20	0,19	0,14
$\Delta$ СМ 50%-й обеспеченности, м	0,07	0,24	0,16	0,10	0,15	0,16	0,15
$\Delta$ СМ 50%-й обеспеченности, %	58,3	171,4	177,8	125	75	84,2	107,3

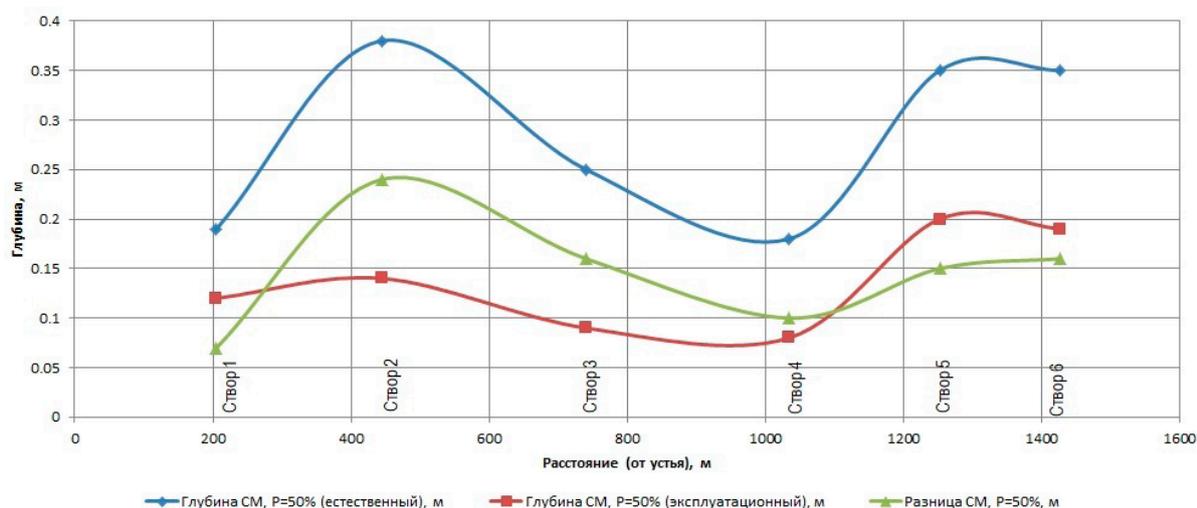


Рис. 6. Глубина стока СМ 50 % в условиях естественного и эксплуатационного состояния канала

### Заключение

Существующие водные ассоциации на исследуемом участке канала Я-6 вполне пригодны к использованию для торможения местного стока и его пропуска при повышенных уровнях воды.

Сообщество трав, типичное для мелиоративных каналов центрального Полесья, в

русле водотока могут создавать гидравлические сопротивления, которые в период минимального стока (СМ 50 %), способны повысить уровни воды в среднем в 2 раза по сравнению с окошенным каналом.

### Библиографический список

1. Стратегия адаптации сельского хозяйства Республики Беларусь к изменению климата [Электронный ресурс] / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/4-Minselxozprod-Strategija-adaptatsii-s-x.pdf/>. – Дата доступа: 03.04.2023.

2. Логинов, В. Ф. Современные изменения климата Беларуси / В. Ф. Логинов // Фундамент. и приклад. климатология. – 2022. – Т. 8, № 1. – С. 51–74. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2022-1-51-74>
3. Хитриков, М. А. Оценка изменений и прогноз биоклиматического потенциала территории Беларуси : автореф. дис. ... канд. географ. наук : 25.03.08 / М. А. Хитриков ; Ин-т природопользования НАН Беларуси. – Минск, 2021. – 21 с.
4. Лихацевич, А. П. Математическая модель урожая сельскохозяйственных культур / А. П. Лихацевич // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 3. – С. 304–318. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-3-304-318>
5. Анженков, А. С. Состояние мелиоративных систем в Беларуси: задачи и перспективы / А. С. Анженков, Н. Н. Линкевич // Мелиорация. – 2022. – № 1 (99). – С. 5–12.
6. Шкутов, Э. Н. Оценка возможности проведения подпочвенного увлажнения на площадях осушительных систем южной и центральной части Беларуси / Э. Н. Шкутов, В. П. Иванов, А. И. Ракицкий // Мелиорация. – 2017. – № 2 (80). – С. 10–22.
7. Ракицкий, А. И. Гидравлический расчет открытого канала в среде HEC-RAS / А. И. Ракицкий // Мелиорация. – 2022. – № 4 (102). – С. 30–38.
8. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. = Разліковыя гідралагічныя характарыстыкі. Парадак вызначэння : ТКП 45-3.04-168-2009 (02250). – Введ. 30.12.09. – Минск : Минстройархитектуры, 2010. – 55 с.
9. Флора БССР : в 5 т. / Ботан. сад Акад. наук БССР ; ред.: Б. К. Шишкин [ и др.]. – Москва : Сельхозгиз, 1949. – Т. 1. – 432 с.
10. Флора БССР : в 5 т. / Ботан. сад Акад. наук БССР ; ред.: Н. А. Дорожкин [и др.]. – Минск : Изд-во Акад. наук БССР, 1950. – Т. 3. – 490 с.
11. Волчек, А. А. Минимальный сток рек Беларуси : монография / А. А. Волчек, О. И. Грядунова. – Брест : Брест. гос. ун-т им. А.С. Пушкина, 2010. – 300 с.
12. Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования. = Меліарацыйныя сістэмы і збудаванне. Нормы праектавання : ТКП 45-3.04-8-2005 (02250). – Введ. 01.11.05. – Минск : Минстройархитектуры, 2006. – 105 с.

Поступила 7 июня 2023 г.