

## ОЦЕНКА КОЛЕБАНИЙ МИНИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ РЕКИ УБОРТЬ

*УО «Брестский государственный технический университет»,  
г. Брест, Республика Беларусь,  
daria-a-sh@rambler.ru*

Изучение колебаний уровней воды на реках имеет большое научное и хозяйственное значение. Строительство мостов, плотин и иных гидротехнических сооружений невозможно без учёта режима и возможных колебаний уровня воды в реках в районах расположения сооружений. Наблюдения за уровнями воды имеют большое значение для подсчета стока воды. Уровни воды являются важной характеристикой водного режима рек.

Как показывают многочисленные исследования рек Полесья, произошло изменения водного режима рек. Данные изменения могут быть вызваны мелиорацией, которая вызывает изменения уровня режима рек, в некоторых случаях ухудшение санитарного состояния территории.

Река Уборть является типичной рекой Белорусского Полесья, изменения уровня режима, которой могут быть связаны с антропогенными и природными факторами.

Река Уборть – правый приток реки Припяти. На территории Республики Беларусь р. Уборть имеет длину 126 км и площадь водосбора 1910 км<sup>2</sup>. Общий перепад реки – 96,3 м. Средний уклон водной поверхности – 0,3 %. Среднегодовой расход воды в устье 24,4 м<sup>3</sup> м/с.

Половодье начинается обычно в первой половине марта, заканчивается в середине мая. Устойчивая межа наступает в июле (продолжительность в среднем три месяца). Замерзает в начале декабря.

Русло свободно меандрирует, извилистое, в нижнем течении сильно извилистое, изредка встречаются низкие песчаные острова, его ширина 10 – 15 м, ближе к устью местами до 60 м.

Гидрологические наблюдения ведутся на посту Краснобережье.

*Цель исследований.* Количественная оценка изменений уровня режима р. Уборть – д. Краснобережье.

*Исходные данные.* Основными исходными материалами при исследовании уровня воды р. Уборть – д. Краснобережье послужили минимальные летне-осенние, минимальные зимние, средние годовые данные государственного водного кадастра ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» за период 1946 – 2015 гг. [1].

Отметка нуля поста 126,26 м БС.

*Методика исследований.* Для исследований использовались статистические методы анализа регрессионный, корреляционный, ряд Фурье [2].

Изменения в хронологическом ходе уровней воды оценивалось с помощью линейных трендов, определяется по формуле:

$$H_i = H_0 \pm \Delta H \cdot t_i, \quad (1)$$

где  $H_i$  – текущее значение уровня воды, см;

$H_0$  – значение уровня воды в начальный момент времени, см;

$\Delta H$  – градиент изменения уровня воды, см/год;

$t_i$  – текущий момент времени, год.

В свою очередь значимость трендов оценивается с помощью коэффициента линейной корреляции.

Прогнозные оценки изменения уровней воды в реке осуществлялись с помощью рядов Фурье. Ряд Фурье – представление произвольной функции  $f(x)$  периодом  $\tau$  в виде ряда.

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{+\infty} A_k \cos\left(2\pi \frac{k}{\tau} x + \theta_k\right) \quad (2)$$

Этот ряд может быть также записан в виде

$$f(x) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \hat{f}_k e^{i2\pi \frac{k}{\tau} x} \quad (3)$$

где  $A_k$  – амплитуда  $k$ -го гармонического колебания;

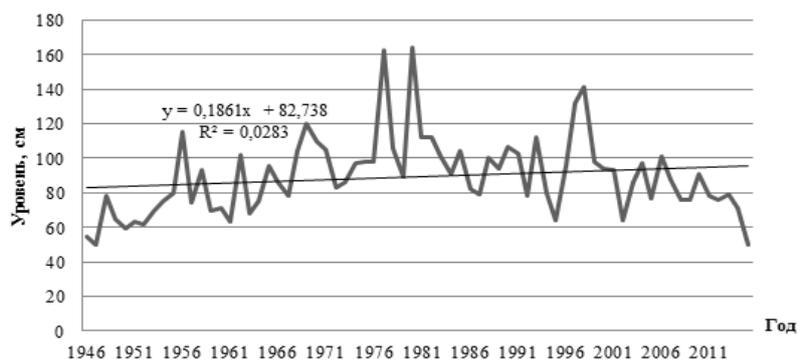
$2\pi(k/\tau) = k\omega$  – круговая частота гармонического колебания;

$\theta_k$  – начальная фаза  $k$ -го колебания;

$\hat{f}_k$  –  $k$ -я комплексная амплитуда.

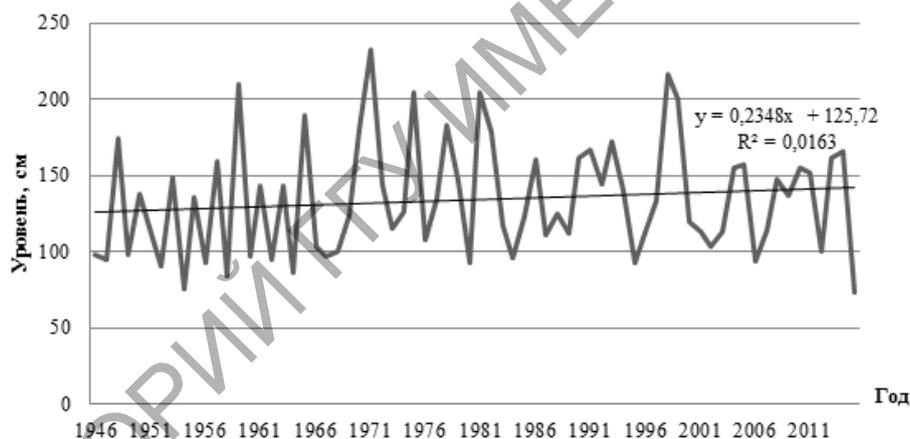
График периодической функции получается путём наложения ряда синусоид. Если же истолковать каждую синусоидальную величину механически как представляющую гармоническое колебательное движение, то можно так же сказать, что здесь сложное колебание, характеризуемое функцией  $f(t)$ , разлагается на отдельные гармонические колебания. В связи с этим отдельные синусоидальные величины называют гармоническими составляющими функции  $f(t)$  или просто её гармониками. Сам же процесс разложения периодической функции на гармоники носит название гармонического анализа.

Анализ низшего уровня воды периода открытого русла показал, что на р.Уборть – д. Краснобережье максимальное значение из минимальных уровней наблюдалось в 1980 г. и составил 164 см, а минимальное значение равнялось 50 см, наблюдалось в 2015 г. Так же исходя из рисунка 1 видно, что за исследуемый период 1946 – 2015 гг. низший уровень воды периода открытого русла возрастает с градиентом  $\Delta H = 0,19$  см/год. Коэффициент корреляции составляет 0,17, что меньше  $r_{\tau} = 0,236$  – критическое значение коэффициента корреляции при уровне значимости 0,05 и числа степени свободы равным  $v = n - 2 = 70 - 2 = 68$ .



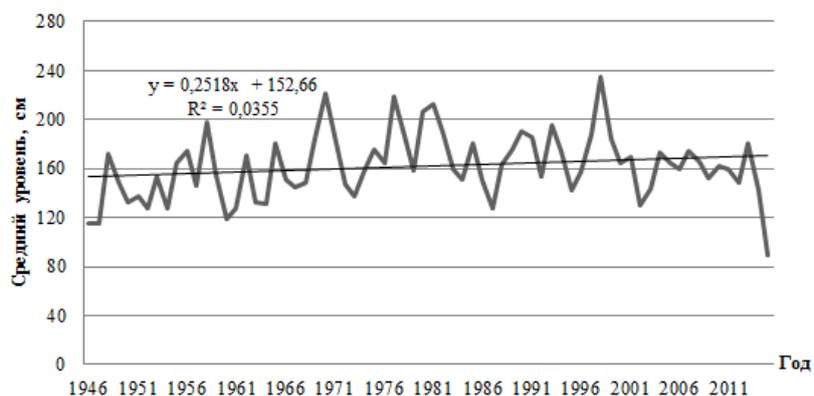
**Рисунок 1 – Значения низшего уровня воды периода открытого русла р. Уборть – д. Краснобережье**

Проведённый анализ низшего зимнего уровня воды показал, что в зимний период наблюдается незначительный рост уровня воды (рисунок 2). Максимальное значение низшего зимнего уровня воды на р. Уборть – д. Краснобережье наблюдалось в 1971 г. и составляло 232 см, а минимальное значение уровня – 73 см в 2015 г. Градиент равен  $\Delta H = 0,24$  см/год, коэффициент корреляции равен 0,13, что меньше  $r_t = 0,236$  – критическое значение коэффициента корреляции при уровне значимости 0,05 и числа степени свободы равным  $\nu = n - 2 = 70 - 2 = 68$ .



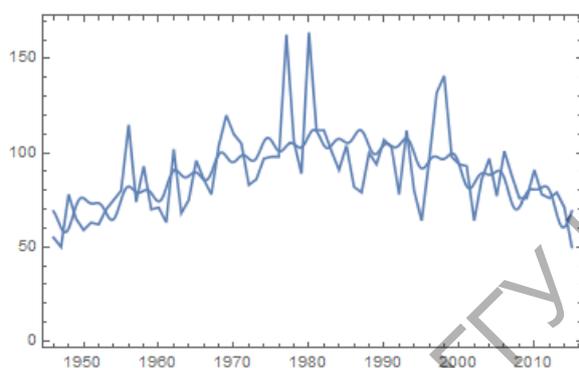
**Рисунок 2 – Значения низшего уровня воды зимнего периода р. Уборть – д. Краснобережье**

Для сравнения колебаний минимальных уровней воды р. Уборть – д. Краснобережье приведён график изменения средних годовых уровней воды. Анализ изменения средних годовых уровней воды на р. Уборть за период 1946 – 2015 гг. наблюдается незначительный рост средних годовых уровней воды (рисунок 3). Так минимальные значения наблюдались в 2015 г. – 89 см. Максимальное значение среднего годового уровня наблюдалось в 1998 г. – 235 см. Градиент  $\Delta H = 0,25$  см/год и коэффициент корреляции 0,19, что меньше  $r_t = 0,236$  – критическое значение коэффициента корреляции при уровне значимости 0,05 и числа степени свободы равным  $\nu = n - 2 = 70 - 2 = 68$ .

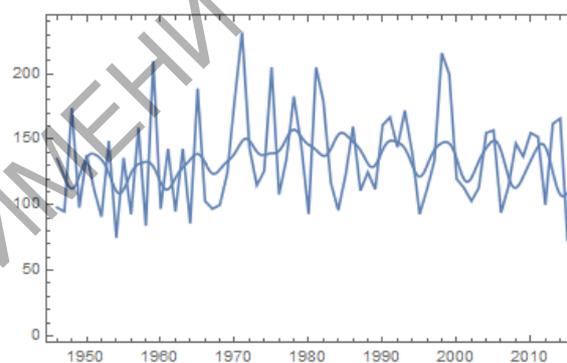


**Рисунок 3 – Значения средних годовых уровней воды  
р. Уборть – д. Краснобережье**

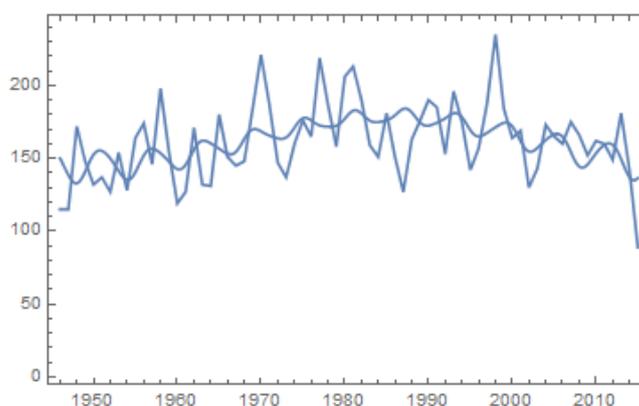
Моделирование уровней воды осуществлялось с помощью преобразования Фурье. На рисунках 4–6 представлены результаты моделирования р. Уборть – д. Краснобережье



**Рисунок 4 – Хронологический ход  
уровней воды низшего периода  
открытого русла  
на р. Уборть – д. Краснобережье  
(по шкале у – уровни, см)**



**Рисунок 5 – Хронологический ход  
низших зимних уровней воды  
на р. Уборть – д. Краснобережье  
(по шкале у – уровни, см)**



**Рисунок 6 – Хронологический ход средних уровней воды  
на р. Уборть – д. Краснобережье  
(по шкале у – уровни, см)**

Прогнозные модели реки Уборть представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Прогнозные модели р. Уборть – д. Краснобережье**

Уровни	Модель	R
низший период открытого русла	$H(t)=87,10+97,85 \cdot \text{Cost}-3 \cdot \text{Cos}[2t]+15,73 \cdot \text{Cos}[2\pi t/79]-95,15 \cdot \text{Sint}+1,21 \cdot \text{Sint}+12,32 \cdot \text{Sin}[2\pi t/79]$	0,96
низший зимний	$H(t)=135,27+7,69 \cdot \text{Cost}-2,11 \cdot \text{Cos}[2t]+10,40 \cdot \text{Cos}[\pi t/31]-12,11 \cdot \text{Sint}-6,35 \cdot \text{Sint}-3,86 \cdot \text{Sin}[2\pi t/31]$	0,93
средний	$H(t)=161,87-313,52 \cdot \text{Cost}-\text{Cos}[2t]-11,03 \cdot \text{Cos}[\pi t/35]-330,76 \cdot \text{Sint}-118,63 \cdot \text{Sint}+12,72 \cdot \text{Sint}[\pi t/35]$	0,98

Проведённый анализ изменения уровня воды р. Уборть – д. Краснобережье показал стабильность минимальных уровней воды, как в период открытого русла, так и в зимний период.

Для краткосрочных прогнозов уровней воды можно использовать ряды Фурье.

#### Список литературы

1 Ежегодные данные о режиме и ресурса поверхностных вод. Ч. 1 Реки и каналы. Ч. 2 Озера и водохранилища. Т. III. – Минск : 1946–2015 гг.

2 Железняков, Г.В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока / Г.В. Железняков, Т.А. Неговская, Е.Е. Овчаров; Под ред. Г.В. Железняка. – М. : Колос, 1984. – 205 с.