

УДК 556.535.3 (476)

**Волчек А.А., Парфомук С.И., Волчек Ан.А.**

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКА СЛАБО ИЗУЧЕННЫХ РЕК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТДЕЛЬНЫХ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

### ВВЕДЕНИЕ

Согласно нормативным документам, в частности Пособию к СНиП [1], в настоящее время для определения основных гидрологических характеристик используются методические рекомендации по расчету: при наличии, недостаточности и отсутствии данных наблюдений. Гидрологический ряд считается достаточным, если среднеквадратические ошибки статистических параметров определяются с ошибкой  $\pm \delta < 10\%$ , в противном случае требуется удлинение исходного ряда. Подбор рек-аналогов осуществляется исходя из следующего: число совместных лет наблюдений должно быть не менее 10, а коэффициент корреляции должен быть  $r \geq 0,7$ . Если число лет наблюдений менее 10, имеет место случай расчета при отсутствии данных наблюдений. При отсутствии данных наблюдений за стоком для определения основных гидрологических характеристик, согласно Пособию к СНиП [1], рекомендуется использовать специальные карты изолиний, не приводится никаких методических рекомендаций по расчету с использованием единичных данных наблюдений.

Целью настоящего исследования является разработка методики использования единичных данных наблюдений при определении основных гидрологических характеристик временных гидрологических рядов различных видов стока для слабо изученных рек.

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА

В настоящее время в гидрологии основным методом определения гидрологических характеристик является метод аналогии. Поэтому на первом этапе, исходя из подобия гидрографических характеристик исследуемого водосбора и анализируемых аналогов, а также возможного близкого расположения рек-аналогов к искомому бассейну реки подбирается три аналога, по которым имеются гидрологические временные ряды наблюдений за искомой величиной. После подбора рек-аналогов определяются их основные статистические характеристики ( $\bar{M}$ ,  $C_V$ ,  $C_S$ ) и путем линейной интерполяции определяются эти же характеристики и для исследуемой реки. Далее определяется обеспеченность года, по которому имеются результаты наблюдений на исследуемой реке. Для этого устанавливаются обеспеченности модулей стока рассматриваемого года на реках-аналогах и строятся локальные функции пространственной асинхронности (ФПА) [2]. Методами пространственной интерполяции с учетом численных значений ФПА определяется обеспеченность модуля стока года, по которому имеются данные наблюдений на исходной реке. Установив расчетную обеспеченность года, по ранее полученным статистическим параметрам определяется сток воды расчетной обеспеченности и сопоставляется с измеренной величиной. В случае если ошибка меньше допустимой (допустимые ошибки назначаются в зависимости от класса решаемой задачи) приступают к непосредственному определению основных гидрологических характеристик исследуемой реки. На основе заданной обеспеченности модуля стока, для которой выполняется расчет, с учетом ФПА определяется обеспеченность модулей стока рек-аналогов и интерполируется для исследуемого водосбора. Для контроля полученной величины по рассчитанным статистическим параметрам методом наибольшего правдоподобия или моментов определяется модуль стока расчетной обеспеченности и сопоставляется с полученной ранее величиной. При допустимой ошибке принимается к

расчету среднее значение.

В случае превышения допустимой ошибки необходимо внести корректировку в состав рек-аналогов и повторить процедуру.

При невозможности добиться желаемого результата путем изменения состава рек-аналогов используются методы определения стока расчетной обеспеченности, рекомендуемые в [1] с помощью изолиний.

Предлагаемая методика позволяет получить более достоверные результаты, так как есть возможность контролировать конечный результат.

В случае нескольких результатов измерений они могут быть использованы для контроля или нескольких независимых вычислений, а конечный результат принимается как средний.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

При проведении численного эксперимента моделировалось два наиболее типичных случая: первый, когда по исследуемой реке имеются материалы экспедиционных исследований в прошлом, второй – экспедиционные наблюдения проведены в текущем году.

Для оценки предлагаемой методики были отобраны малые реки Беларуси, имеющие ряды наблюдений за среднегодовым, максимальным весеннего половодья, минимальным летне-осенним и минимальным зимним стоками. Лимитирующим критерием выступала длина гидрологического ряда, для которого среднеквадратические ошибки статистических характеристик ( $\bar{M}$ ,  $C_V$ ,  $C_S$ ) составляли не более 10%, что соответствует расчетному случаю – наличие данных наблюдений. По этим временным рядам стока, исходя из практических соображений, определялись расходы воды шести расчетных обеспеченностей: 1, 5, 25, 75, 95 и 99% для различных видов стока, которые послужили критерием при оценке предлагаемой методики.

В первом варианте случайным образом выбирался расчетный год, данные по которому использовались в эксперименте, во втором – использовались данные последнего года, имеющегося в базе данных. Используя вышеописанную методику, рассчитывался сток различной обеспеченности и контролировался измеренными величинами. Результаты численного эксперимента представлены в табл. 1.

Как показал численный эксперимент, лучший результат получен для годового стока. Так в более чем 80% случаев ошибка определения не превышает 20%, что вполне приемлемо для практических расчетов. При этом многоводные годы рассчитываются с большей точностью, а выбор года, по которому имеются данные наблюдений, не влияет на конечный результат. Худшие результаты получены для характерных видов стока, так как эти виды стока более зависимы от локальных факторов.

**Волчек Александр Александрович**, д.г.н., профессор, заместитель директора по научной работе ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси».

ул. Московская, 202, 224020, г. Брест, Беларусь.

**Парфомук Сергей Иванович**, ассистент кафедры информатики и прикладной математики Учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

**Волчек Анастасия Александровна**, аспирант кафедры сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

ул. Московская, 267, УО БрГТУ, 224017, г. Брест, Беларусь.

Таблица 1. Результаты численного эксперимента

Вид стока, л/(с·км <sup>2</sup> )	Обеспеченность, %	Процент попадания точек в диапазон									
		Вариант 1					Вариант 2				
		±5%	±10%	±20%	±30%	±50%	±5%	±10%	±20%	±30%	±50%
Среднегодовой	1	38,1	57,1	85,7	100	100	38,1	61,9	85,7	90,5	100
	5	28,6	61,9	95,2	100	100	33,3	57,1	90,5	100	100
	25	33,3	52,4	85,7	90,5	100	42,9	57,1	95,2	100	100
	75	9,5	61,9	85,7	95,2	100	14,3	61,9	90,5	95,2	100
	95	23,8	42,9	90,5	95,2	95,2	14,3	42,9	90,5	95,2	100
	99	19,0	42,9	61,9	76,2	95,2	28,6	28,6	66,7	81,0	95,2
	<b>среднее</b>	<b>25,4</b>	<b>53,2</b>	<b>84,1</b>	<b>92,9</b>	<b>98,4</b>	<b>28,6</b>	<b>51,6</b>	<b>86,5</b>	<b>93,7</b>	<b>99,2</b>
Максимальный весеннего половодья	1	14,3	19,0	47,6	61,9	90,5	14,3	19,0	42,9	57,1	90,5
	5	9,5	19,0	52,4	61,9	95,2	9,5	28,6	52,4	61,9	90,5
	25	14,3	28,6	52,4	71,4	90,5	19,0	38,1	57,1	66,7	85,7
	75	14,3	33,3	47,6	52,4	85,7	4,8	19,0	47,6	52,4	81,0
	95	9,5	14,3	23,8	57,1	90,5	19,0	33,3	47,6	66,7	85,7
	99	0,0	9,5	23,8	28,6	57,1	0,0	9,5	23,8	38,1	66,7
	<b>среднее</b>	<b>10,3</b>	<b>20,6</b>	<b>41,3</b>	<b>55,6</b>	<b>84,9</b>	<b>11,1</b>	<b>24,6</b>	<b>45,2</b>	<b>57,1</b>	<b>83,3</b>
Минимальный летне-осенний	1	4,8	14,3	42,9	66,7	76,2	0,0	9,5	42,9	57,1	81,0
	5	19,0	23,8	52,4	71,4	85,7	23,8	28,6	57,1	66,7	81,0
	25	9,5	28,6	52,4	61,9	81,0	14,3	33,3	47,6	61,9	76,2
	75	4,8	19,0	42,9	66,7	81,0	14,3	23,8	47,6	61,9	76,2
	95	14,3	19,0	38,1	38,1	76,2	14,3	28,6	47,6	47,6	71,4
	99	0,0	9,5	33,3	42,9	66,7	0,0	4,8	38,1	47,6	66,7
	<b>среднее</b>	<b>8,7</b>	<b>19,0</b>	<b>43,7</b>	<b>57,9</b>	<b>77,8</b>	<b>11,1</b>	<b>21,4</b>	<b>46,8</b>	<b>57,1</b>	<b>75,4</b>
Минимальный зимний	1	19,0	28,6	47,6	61,9	76,2	23,8	33,3	57,1	66,7	76,2
	5	14,3	28,6	66,7	76,2	85,7	23,8	42,9	71,4	76,2	90,5
	25	33,3	47,6	71,4	81,0	85,7	23,8	52,4	71,4	81,0	85,7
	75	9,5	33,3	57,1	66,7	85,7	23,8	38,1	66,7	66,7	76,2
	95	19,0	28,6	52,4	66,7	81,0	23,8	42,9	57,1	66,7	85,7
	99	9,5	19,0	47,6	61,9	85,7	14,3	28,6	52,4	52,4	81,0
	<b>среднее</b>	<b>17,5</b>	<b>31,0</b>	<b>57,1</b>	<b>69,0</b>	<b>83,3</b>	<b>22,2</b>	<b>39,7</b>	<b>62,7</b>	<b>68,3</b>	<b>82,5</b>

Сравнительный анализ предлагаемой методики с традиционными методами, рекомендованными нормативными документами, показал ее преимущество, т. к. в различные диапазоны точности попало в среднем на 5–7 % больше расчетных значений стока.

#### ОПИСАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА

В связи с большим объемом вычислительных работ расчеты выполнены с применением компьютерной программы, которая является составной частью разработанного авторами программного комплекса «Гидролог – 2». Компьютерная программа состоит из следующих блоков.

1. *Ввод исходной информации.* Задается название исследуемой реки, название створа, основные характеристики водосбора, а также величина измеренных расходов воды и дата их получения (рис. 1).

2. *Подбор рек-аналогов.* На основе встроенного банка гидрологической информации, подбираются три реки-аналога для исследуемой реки с учетом соизмеримости площадей водосбора и других гидрографических характеристик.

3. *Проверка рек-аналогов на корректность искомому году.* Методами линейной интерполяции по данным о модулях стока рек-аналогов исходного года определяется значение стока исследуемой реки и сопоставляется и измеренной величиной. Если ошибка меньше допустимой (по умолчанию ошибка принимается 10 %), программа переходит к блоку 4. В противном случае исключается одна или несколько рек-аналогов, и программа переходит к блоку 2, где подбирается новый набор рек-аналогов. Кроме того, программой предусмотрено отыскание набора рек-аналогов, при котором ошибка измеренного значения стока и полученного путем интерполяции будет минимальной.

4. *Определение статистических параметров временных рядов рек-аналогов и исследуемой реки ( $\bar{M}$ ,  $C_V$ ,  $C_S$ ).* Основные статисти-

ческие параметры временных рядов определяются с использованием трехпараметрического гамма-распределения или распределения Пирсона III типа, и методами линейной интерполяции рассчитываются статистические характеристики исследуемой реки.

5. *Определение количественных параметров ФГА.* По результатам анализа равнообеспеченных и хронологических кривых обеспеченностей вычисляются коэффициенты асинхронности и устанавливаются зависимости коэффициентов асинхронности от обеспеченности и расстояния между реками-аналогами.

6. *Определение обеспеченности стока искомого года.* По исходному году и временным рядам стока рек-аналогов определяется обеспеченность стока в данном году. Затем методами линейной интерполяции определяется обеспеченность измеренного стока исследуемой реки.

7. *Проверка рек-аналогов на корректность по обеспеченным величинам.* По определенным в блоке 4 статистическим параметрам ( $\bar{M}$ ,  $C_V$ ,  $C_S$ ) исследуемой реки с использованием трехпараметрического гамма-распределения или распределения Пирсона III типа рассчитывается сток расчетной обеспеченности, полученной в блоке 6, и сопоставляется с измеренным стоком. При ошибке меньше допустимой программа переходит к блоку 8. В противном случае вносятся определенные корректировки, и программа переходит к блоку 4.

8. *Определение стока расчетной обеспеченности исходной реки с помощью статистических методов.* По определенным в блоке 4 статистическим параметрам ( $\bar{M}$ ,  $C_V$ ,  $C_S$ ) исследуемой реки с использованием трехпараметрического гамма-распределения или распределения Пирсона III типа рассчитывается сток требуемой расчетной обеспеченности (рис. 2).

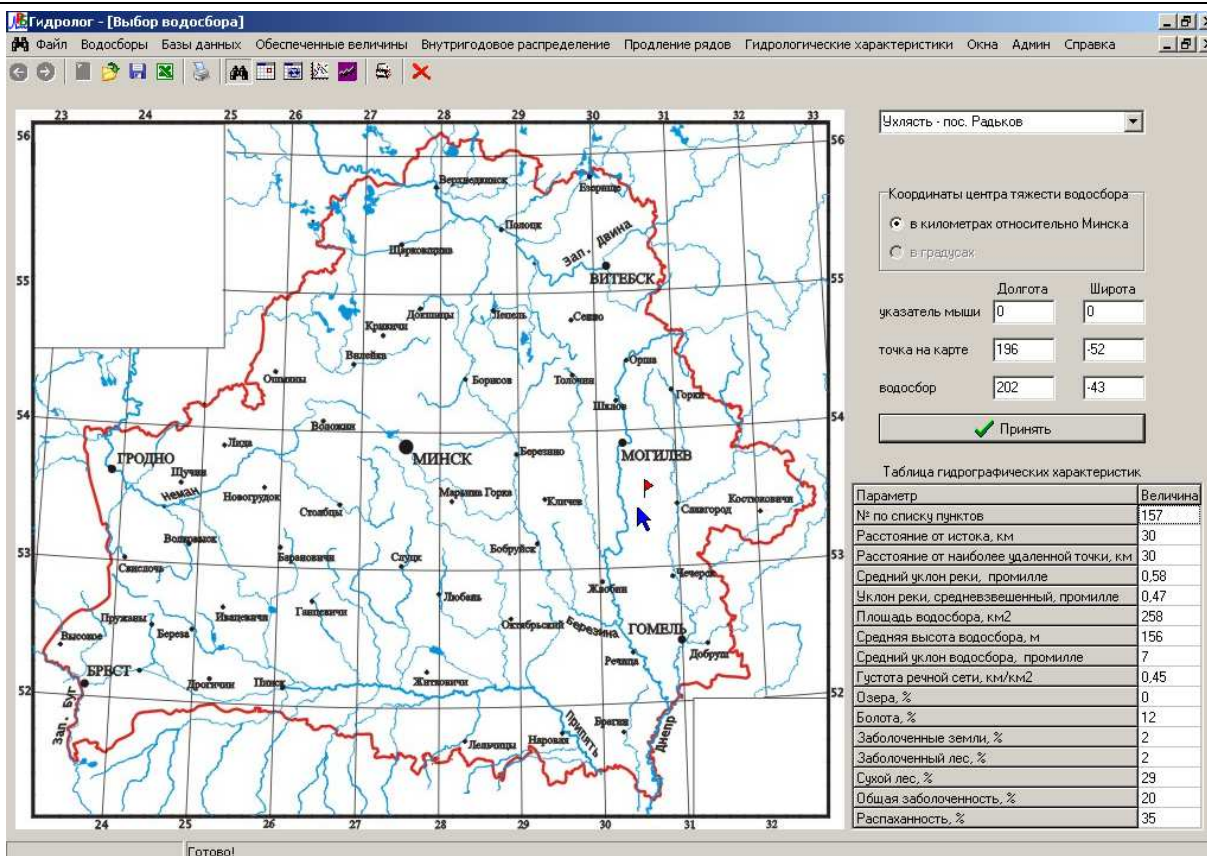


Рис. 1. Ввод исходной информации

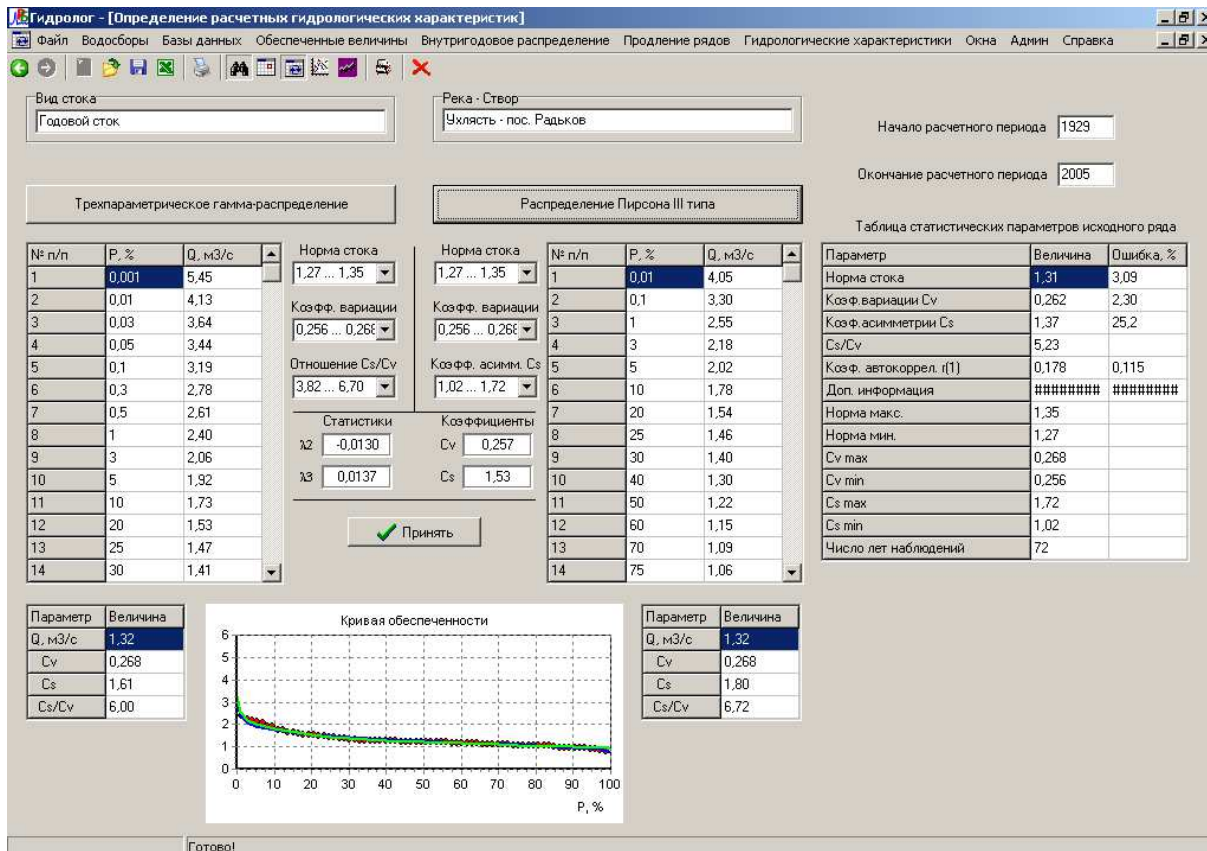


Рис. 2. Определение стока расчетной обеспеченности

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

9. *Определение стока расчетной обеспеченности исходной реки по рекам-аналогам методом линейной интерполяции.* Рассчитывается сток рек-аналогов для заданной расчетной обеспеченности, и вносятся поправки на асинхронность с помощью ФПА, полученных в блоке 5. Затем методами линейной интерполяции по рекам-аналогам определяется сток заданной расчетной обеспеченности исследуемой реки.

10. *Анализ полученных результатов.* Полученные значения стока заданной расчетной обеспеченности исследуемой реки двумя методами сопоставляются между собой. Если расхождение не превышает заданной величины, то расчетный сток заданной обеспеченности принимается как средняя величина из двух полученных величин. В противном случае привлекается метод изолиний и его результат учитывается при принятии окончательного решения.

Предложенная методика и компьютерная программа позволяют в автоматическом режиме рассчитывать расходы воды слабоизученных малых рек с использованием данных отдельных измерений. При этом контролируется подбор рек-аналогов и полученные конечные результаты.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пособие к строительным нормам и правилам. П1-98 к СНиП 2.01.14-83 Определение расчетных гидрологических характеристик. – Минск: РУП «Минсктиппроект», 2000. – 174 с.
2. Волчек А.А., Плужников В.Н. Пространственно-временные колебания элементов водного баланса (на примере Белоруссии)// Водные ресурсы, 1991. - №5. – С. 21 – 29.

*Материал поступил в редакцию 25.11.07*

**VOLCHEK A.A., PARFOMUK S.I., VOLCHEK An.A. Method for definition of runoff calculation characteristics of poorly investigated rivers with use of separate supervision data**

The method of use of individual supervision data is developed at definition of runoff calculation characteristics that based on the automated selection of rivers-analogues and construction of local spatial asynchronous functions. The offered method allows obtaining more authentic calculation data by means of the control intermediate and ending results. The developed method and the automated computer program can be used for calculation of water flows of poorly investigated rivers with use of separate supervision data with high degree of accuracy that is checked up on the plenty of small rivers of Belarus.

УДК 556.048(476)

**Волчек А.А.**

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЕЙ ВОДЫ ОЗЕР БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА**

**ВВЕДЕНИЕ**

Озера являются уникальными водными объектами и имеют важное экономическое и экологическое значение. В Беларуси насчитывается около 10 тыс. озер, площадь водного зеркала которых составляет 2000 км<sup>2</sup> и объем воды 6 – 7 км<sup>3</sup>. Они служат накопителями чистой пресной воды, а также выполняют функцию регулирования поверхностных и подземных вод. В связи с тем, что водообмен в озерах замедлен, они являются более уязвимыми по сравнению с реками, могут служить чувствительным индикатором изменений большинства климатических факторов. В последнее время природно-климатические факторы и антропогенные воздействия вызвали трансформацию гидрологического режима озер Беларуси и в ряде случаев существенную. Поэтому появилась необходимость экологического прогноза в условиях изменяющегося климата и антропогенных воздействий на водные объекты, которая ставит перед исследователями ряд конкретных задач по изучению эволюции озерных экосистем, разработке количественных, качественных диагностических, имитационных и прогностических моделей.

Существенной трудностью при моделировании гидрологического режима озер во времени является недостаток данных для ретроспективного анализа их эволюции. Кроме того, проблема усугубляется возрастающим антропогенным влиянием на водные экосистемы, сложностью выделения природных и антропогенных составляющих в наблюдаемых процессах. Индивидуальность в формировании водного режима озер требует в каждом конкретном случае отдельного рассмотрения. Однако создание математических моделей, отражающих объективные закономерности развития гидрологических процессов во времени, и построение прогнозов представляет значительный научный и практический интерес и разрабатывается в самых различных направлениях. Одной из главных количественных гидрологических характеристик озера является его уровень, с помощью которого можно выявить и отследить результаты тех или иных воздействий. Кроме того, данные об уровне озер требуются при решении ряда гидрологических и водохозяйственных задач.

Целью настоящей работы является анализ временных рядов уровней воды озер Беларуси для выявления закономерностей в их

колебании, количественной оценки трансформации гидрологического режима озерных экосистем и построении прогнозных моделей.

**ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Материалом для исследования служат данные многолетних инструментальных наблюдений за уровнем воды выполненных Гидрометеослужбой на 9 крупнейших озер Беларуси. Объектами изучения – озера, имеющие большое народнохозяйственное и природоохранное значение, расположенные, согласно природному районированию, в Белорусской Позерской, и Полесской (озеро Червоное) провинциях. Площади зеркала озер от 3,13 (Сенно) до 79,62 км<sup>2</sup> (Нарочь), объем воды 26,83 – 710 млн.м<sup>3</sup> соответственно. Озера относятся к мелководным (максимальная глубина Выгонощанское – 2,3 м, до Нещердо – 8,1 м), среднеглубоким (Лукомльское – 11,5 м, Нарочь – 24,8 м) и глубоководным (Сенно – 31,5 м). Все озера имеют высокую тесноту связи с гидрографической сетью. Площадь водосбора изменяется от 61,1 км<sup>2</sup> (Выгонощанское) до 423 км<sup>2</sup> (Дривяты), величина удельного водосбора от 0,046 (Сенно) до 0,42 (Выгонощанское) при средней величине для озер – 0,2. Все озера характеризуются замедленным водообменом, при этом величина удельной водообменности ( $V_{оз}/W_{прит.}$ ) изменяется от 0,15 (Лукомское) до 1,9 (Сенно), исключительно низкое значение отличает озеро Нарочь – 14,9.

Годовой ход изменения уровня озер типичен для озер умеренной зоны. Многолетняя амплитуда колебания уровня озер для лет различной обеспеченности изменяется от 0,29 см (Мястро) до 0,86 м (Нещердо) при средних величинах 0,67 м. Большая величина амплитуды колебания уровня для озера Освейское (1,07 м) носит антропогенный характер. Морфометрические особенности котловин озер, влияющие на высоту подъема уровня воды – наличие четко выраженной пологой зоны мелководий (литорали), пологих склонов и развитой поймы (исключая озеро Сенно).

Факторы, влияющие на формирование уровня озер, можно условно разделить на две группы. К первой группе относятся глобальные факторы, которые касаются больших террито-