

Гидрологический режим озера Плещеево

С.Х. Хачатуров¹*

¹ Национальный парк «Плещеево озеро», Переславль-Залесский
(Ярославская обл.), Россия

*suren.nauka@mail.ru



Ключевые слова гидрологический режим, Плещеево озеро, водный баланс, проточность озера

Аннотация В статье представлен анализ гидрологического режима озера Плещеево и его притоков, проведена оценка водного баланса и проточности озера на основе архивных данных и современных наблюдений Национального парка «Плещеево озеро» за период 2019-2024 гг.

1 Введение

Озеро Плещеево представляет собой обособленный проточный водоём, его водосборный бассейн полностью входит в водосборную площадь реки Волга. Гидрологический режим озера, его уровень, площадь водного зеркала и объём определяются, в основном, климатическими особенностями региона, геологическим строением водосбора и величиной площади водосборного бассейна. По данным ИБВВ РАН площадь водосборного бассейна (поверхностный сток), включая водоём, составляет 408 км² [1]. Площадь водосбора озера Плещеево по данным Государственного водного реестра составляет 425 км². Водное питание озера Плещеево тесно связано с подземными водами. Формирование подземных вод, питающих озеро, происходит на площади около 448 км², что на 10% больше, чем площадь бассейна самого озера. В настоящее время площадь водосбора озера Плещеево определена по данным спутниковой съёмки – SRTM. В целом водосборная площадь (без учёта акватории озера) составила 344,69 км², а с учётом площади акватории озера Плещеево, вся водосборная площадь озера Плещеево (поверхностный сток) составляет: $344,69 \text{ км}^2 + 50,37 \text{ км}^2 = 395,06 \text{ км}^2$.

Следует отметить, что водосборная площадь озера Плещеево мала. В связи с прекращением поверхностного стока из Берендеева болота в истоке р.Трубеж (в ручье Чернавка), площадь водосборного бассейна р.Трубеж и, соответственно, поверхностного стока озера Плещеево уменьшилась примерно на 50,6 км².

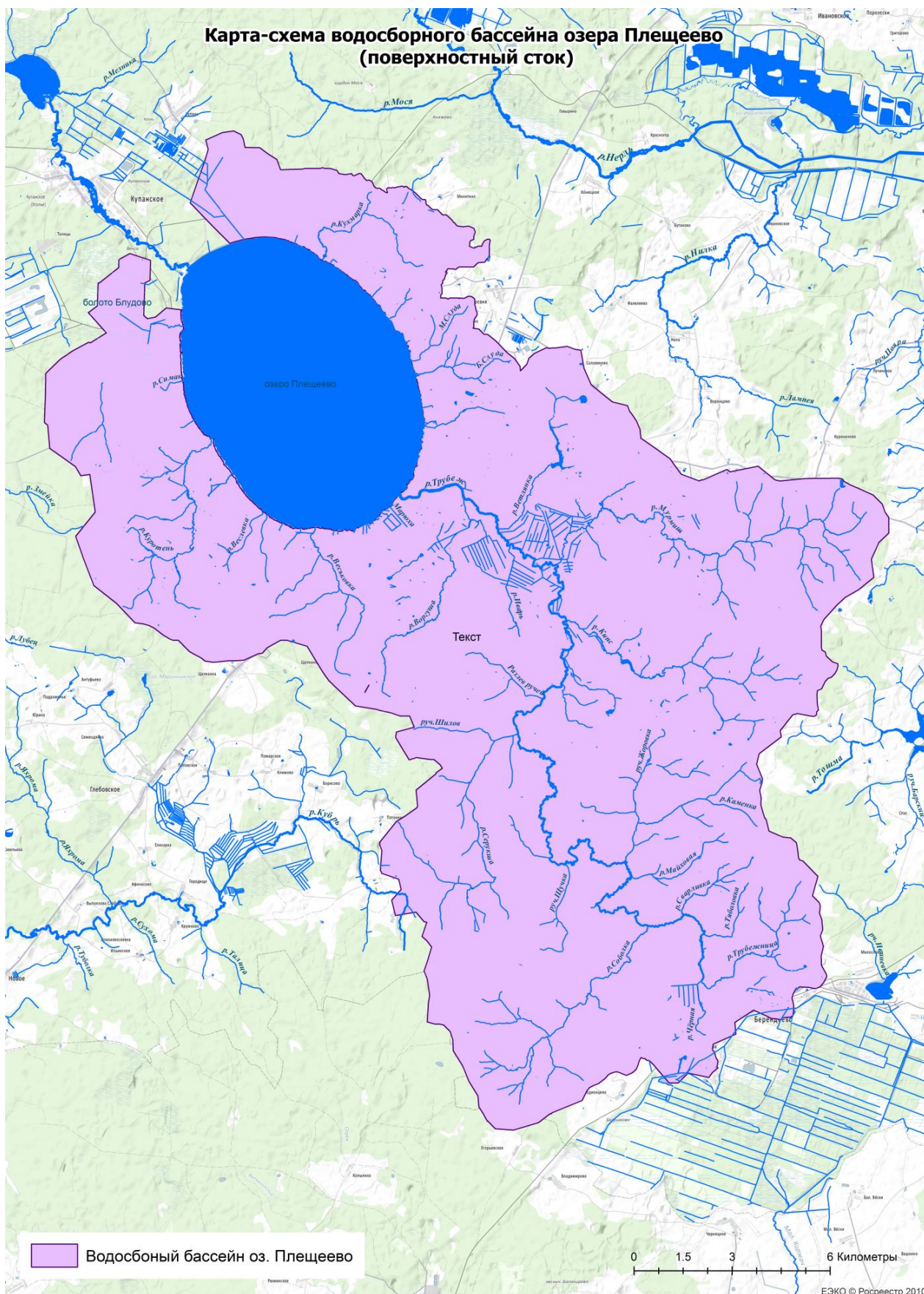


Рис. 1. Водосборный бассейн озера Плещеево
Fig. 1. Drainage basin of Lake Pleshcheyevo

Для европейской части России характерны маловодные и многоводные периоды, которые могут иметь разную периодичность от нескольких лет до нескольких десятилетий и более. Это накладывает отпечаток как на гидрологический режим самого озера, так и на всю систему его водосбора в целом. Исходя из сложившегося гидрологического режима озера Плещеево, весной, в период снегового половодья на реках, питающих озеро, резко возрастает приток воды, а летом наоборот, увеличивается расход за счёт испарения. Это отражается на сезонном колебании уровня озера. Сезонные колебания уровня воды в озере связаны с изменением составляющих водного баланса озера и определяются типом внутригодового режима речного стока.

Колебания уровня воды в озере – это основная характеристика режима озера. Среднемноголетний уровень воды в озере Плещеево (по данным Ярославского ЦГМС) составляет 137,47 м (БС). Между тем, повсеместно вокруг озера, за исключением северо-западной стороны в направлении Волжско-Нерльской низины, отметки земли колеблются от 140 м (БС) до 190 м (БС) и более. Чаша озера Плещеево расположена в котловине и соответственно подземные и грунтовые стоки воды направлены и разгружаются в его чашу. Поэтому озеро Плещеево почти со всех сторон подпёрто подземными и грунтовыми водами, что предотвращает боковую фильтрацию воды из котловины озера, за исключением северо-западного берега в сторону Волжско-Нерльской низины. Именно такое физико-географическое расположение озера Плещеево делает его относительно неуязвимым к обмелению.

2 Результаты

2.1 Водное питание озера Плещеево

Питание озера Плещеево преимущественно поверхностное, атмосферное и подземное.

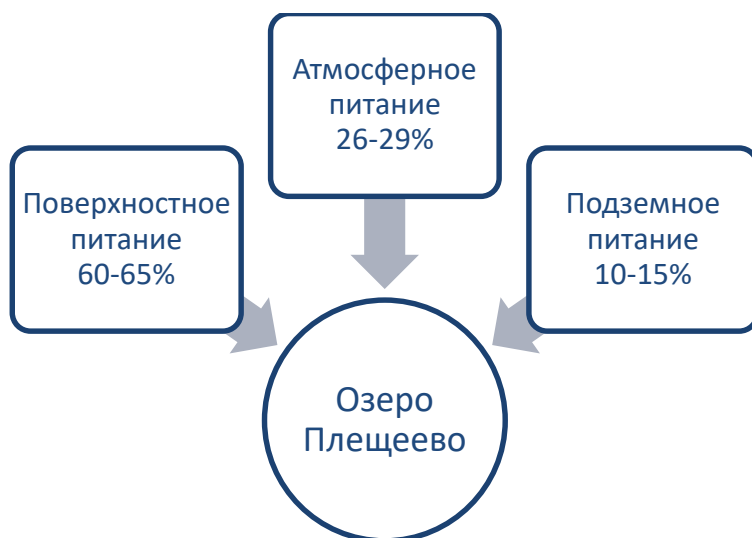


Рис. 2. Водное питание озера Плещеево
Fig. 2. Water supply of Lake Pleshcheyevo

Поверхностное питание составляет примерно 60-65 % и осуществляется за счёт стока притоков: р.Трубеш (главного притока озера Плещеево) и 16 малых рек и ручьёв.

Атмосферное питание составляет примерно 26 - 29 % и происходит за счёт осадков (снега и дождя) выпадающих непосредственно на водную поверхность (акваторию) озера. Объём атмосферных осадков, выпадающих на акваторию озера, как в абсолютном, так и в относительном исчислении, существенно меняется и в многолетнем, и в сезонном режиме.

Подземное питание происходит за счёт разгрузки подземных и грунтовых вод в котловину озера. Режим подземных вод по сравнению с поверхностным стоком имеет свои особенности. Для сезонного хода уровня подземных вод характерны весенний (апрель-май) и осенний (ноябрь) максимумы. Абсолютный минимум наблюдается в марте, так как в зимнее время запас подземных вод только расходуется. Начало весеннего подъёма уровней зависит от режима температуры воздуха и приходится на период устойчивого перехода среднесуточной температуры через нулевую отметку. Весенний максимум уровня чаще всего наступает через 1-2 месяца после начала весеннего подъёма. Амплитуда весеннего подъёма уровня грунтовых вод может различаться от нескольких десятков сантиметров до 1-1,5 м. Затем наступает летне-осенний спад уровня, обусловленный прекращением весеннего инфильтрационного питания и началом интенсивного испарения грунтовых вод. Он длится до августа-октября, а иногда и до ноября. С началом осенних дождей и значительным уменьшением испарения начинается осенний подъём уровня, продолжающийся до декабря, когда формируется осенне-зимний максимум.

2.2 Гидрографическая сеть бассейна озера Плещеево

Гидрографическая сеть бассейна озера Плещеево представлена речной системой реки Трубеж (имеет 29 притоков I-го, II-го и III-го порядка), обуславливающей основной поверхностный приток воды в озеро, и 16-ю малыми реками и ручьями:

- малые реки Веськовка, Куротень, Язёвка, Кухмарь, Малая Слуда, Большая Слуда;
- ручьи Матросов овраг, Ключ Гремяч, Еглевка, Веслевка, Павловка, Сосенка, Симак, Рябцовка, Галев Поток, Валовая канава (Дедовик);
- река Нерль (Вёкса Плещеевская), вытекающая из озера.

Реки водосборного бассейна озера Плещеево относятся к Верхневолжскому подтипу восточно-европейского гидрологического типа. Для них характерно смешанное питание: поверхностное, атмосферное, подземное и болотное.

Русла р. Трубеж, всех малых рек и ручьёв характеризуются большой извилистостью, пойменные берега обычно крутые, высотой до 2-х метров и более. Ширина русел малых рек и ручьёв составляет 2 – 8 метров, глубина около 1 метра. Скорость течения воды при прохождении паводка составляет 0,5 – 1,0 м/сек и более, в межень 0,1 - 0,2 м/сек и менее.

Основной рекой бассейна озера Плещеево является река Трубеж, площадь ее водосборного бассейна поверхностного стока – 247,02 км², что составляет 62,5 % водосбора озера Плещеево. Из озера вытекает одна типично озёрная река Нерль (Вёкса Плещеевская), которая является правым притоком реки Волга. Протяжённость Вёксы до озера Сомино составляет 8,2 км, далее она пересекает небольшое заболоченное озеро Сомино, ниже которого река называется Нерлью Волжской.

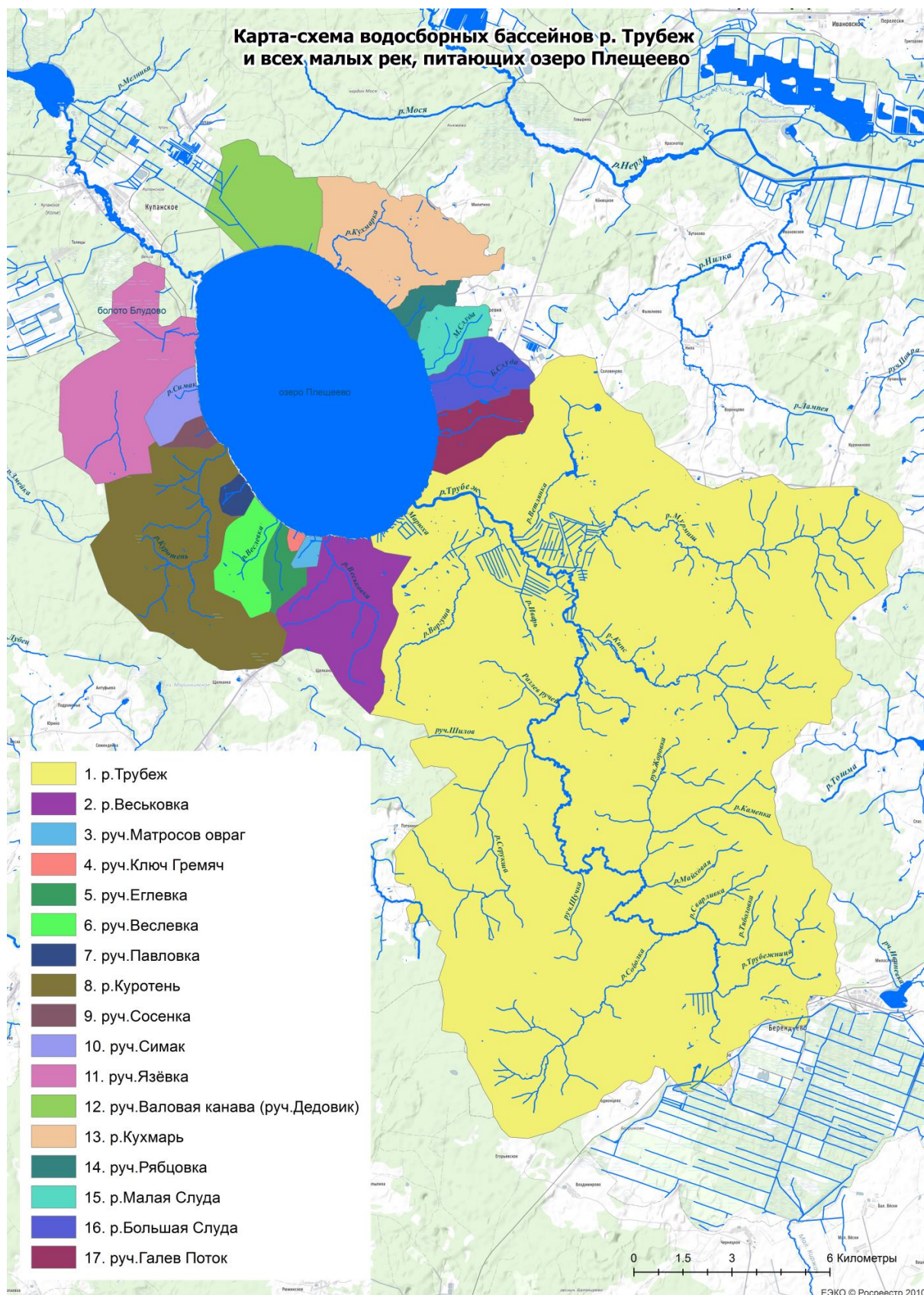


Рис. 3. Карта-схема водосборных бассейнов р.Трубеж и всех малых рек и ручьёв, впадающих в озеро Плесшеево

Fig. 3. The map diagram of the catchment basins of the river.Trubezh and all small rivers and streams flowing into Lake Pleshcheyevo

Согласно данным государственного водного реестра общая протяжённость р.Нерль (Вёкса Плещеевская) составляет 112 км. Гидрологический режим реки Нерль (Вёкса Плещеевская) регулируется озером Плещеево и зависит от стока реки Трубеж и водорегулирующей плотины, находящейся в с. Купанское Переславль-Залесского муниципального округа Ярославской области.

Водный режим р.Трубеж, малых рек и ручьёв в бассейне озера Плещеево находится в прямой зависимости от погодных условий года, и в первую очередь от осадков и температуры воздуха. Кроме того, имеют значение физико-географические особенности их водосборной площади.

Длина р.Трубеж (по данным Государственного водного реестра) составляет – 36 км, длина всех 16-и малых рек и ручьёв, впадающих в озеро Плещеево, менее 10 км. Водосборные бассейны р.Трубеж, всех малых рек и ручьёв, впадающих в озеро Плещеево, приведены на рисунке 3.

Водный режим р. Трубеж и малых рек, как и всех рек Верхневолжья, характеризуется ярко выраженными фазами водного режима: весеннее половодье, летне-осенняя межень, прерываемая дождевыми паводками и низкая зимняя межень с зимним ледоставом (рис.4).



Рис.4. Фазы водного режима рек водосборного бассейна озера Плещеево
Fig.4. Phases of the water regime of the rivers of the Lake Pleshcheyevo drainage basin

Наиболее важной фазой водного режима водотоков является весеннее половодье. В период весеннего половодья питание речной сети осуществляется главным образом за счёт почвенно-поверхностных вод, формирующихся с поверхности склонов и в почвенных слоях. С началом интенсивного снеготаяния резко повышаются уровни, расходы воды увеличиваются и соответствуют пиковым.

Река Трубеж имеет хорошо выраженный пик весеннего половодья и два периода низкого стояния уровня – летнюю и зимнюю межени. В летне-осенний период нормальный ход может нарушаться кратковременными дождевыми паводками. Интенсивность паводков иногда не уступает весеннему половодью. В меженные периоды скорость течения воды в устье р.Трубеж не превышает 2-3 см/сек. При нагонных северо – западных ветрах воды р.Трубеж на своём устьевом участке могут течь в обратную сторону.

Во внутригодовом ходе уровней р.Нерль (Вёкса Плещеевская) резких колебаний не наблюдается. По сравнению с р.Трубеж период весеннего половодья на р.Нерль (Вёкса Плещеевская) смещён примерно на месяц, волна её половодья более растянута, чем на

р.Трубеж. В этом проявляется буферный эффект озера Плещеево. Поступающие стоки воды в озеро Плещеево вначале разливаются по акватории водоёма, постепенно повышают уровень и увеличивают объём воды в озере. С повышением уровня воды в озере, происходит постепенное увеличение вытекающих из озера расходов воды, которые подчинены гидравлическим законам свободного истечения воды из этого водоёма.

Протекающие через болотные массивы малые реки, вскрывая горизонт грунтовых вод, обеспечивают себе устойчивый минимальный сток. Ручьи Веслевка, Симак, Галев Поток в летний период почти ежегодно пересыхают, и вода в русле этих ручьёв отсутствует, поскольку русла этих рек не глубокие и не вскрывают грунтовые и подземные горизонты. Их водосборные бассейны спланированы, обустроены, русла ручьёв зарегулированы, на них устроены многочисленные запруды и водоёмы. В отдельные маловодные годы в летне-осенний период также могут пересыхать малые реки Малая Слуда и Язёвка и ручей Валовая канава (Дедовик). Кроме того, в русле малых рек: Куротень, Язёвка, Кухмарь, Большая Слуда и ручье Валовая канава (Дедовик) бобрами возведены плотины, которые препятствуют свободному течению воды в этих водотоках, приводят к значительным потерям воды на испарение и фильтрацию, изменению их гидрологического режима, уменьшению приточности воды в озеро Плещеево.

Перечень рек и ручьёв, впадающих в озеро Плещеево и вытекающих из него, расположенные на территории национального парка Плещеево озеро и его охранной зоне приведены в таблице 1.

Таблица 1. Перечень рек и ручьёв, впадающих в озеро Плещеево и вытекающих из него
Table 1. List of rivers and streams flowing into and out of Lake Pleshcheyevo

	Наименование рек, ручьёв и родников	Место впадения (берег)	Длина ¹ , км	Площадь водосбора, км ²	² Среднегодовой сток, за период 2019–2024 гг., тыс. м ³	³ Среднегодовой сток по данным ИБВВ РАН 1985, тыс. м ³	Питание рек и ручьёв
Реки и ручьи, впадающие в оз. Плещеево							
1	Река Трубеж	ЮВ	36,0	247,02	52127,8	48600,0	Снеговое, дождевое, подземное
2	Река Веськовка	ЮЗ	6,72	11,03	1319,0	2270,6	Снеговое, дождевое, подземное
3	Ручей Матросов овраг	ЮЗ	0,2	0,65	51,8	н/св.	
4	Ручей Ключ Гремяч	ЮЗ	0,26	0,27	991,9	220,8	Частично снеговое, дождевое, подземное
5	Ручей Еглевка	ЮЗ	2,24	2,07	138,4	473,0	Снеговое, дождевое, подземное
6	Ручей Веслевка	ЮЗ	2,47	4,31	141,8	н/св.	

¹ Длина рек и ручьёв (за исключением р.Трубеж), впадающих в озеро Плещеево, и их водосборные площади определены по данным спутниковой съёмки – SRTM, с помощью программного обеспечения Arc Gis (поверхностный сток).

² Среднегодовой сток за 2019–2024 гг. приведен по данным ФГБУ «Национальный парк «Плещеево озеро»

³ Среднемноголетний сток приведён по данным ИБВВ РАН (1989) [1]

7	Ручей Павловка	ЮЗ	1,1	0,97	248,8	н/св.	Снеговое, дождевое, подземное
8	Река Куротень	З	9,32	23,10	2162,0	3532,0	Снеговое, дождевое, подземное
9	Ручей Сосенка	З	0,9	0,91	6,1	н/св.	Снеговое, дождевое
10	Ручей Симак	З	0,2	2,40	261,4	н/св.	Болотное, снеговое, дождевое
11	Река Язёвка	З	1,71	15,64	1763,9	410,0	
12	Ручей Валовая канава (Дедовик)	С	2,7	8,7	1011,1	914,5	
13	Река Кухмарь	СВ	6,84	13,54	458,0	1702,9	Снеговое, дождевое, подземное
14	Ручей Рябцовка	СВ	1,26	1,72	57,0	н/св.	Снеговое, дождевое, подземное
15	Река Малая Слуда	В	2,84	3,14	176,5	н/св.	Снеговое, дождевое, подземное
16	Река Большая Слуда	В	3,95	4,60	909,3	н/св.	
17	Ручей Галев Поток	ЮВ	2,8	4,62	116,7	н/св.	Снеговое, дождевое, подземное
Всего:		-	81,5	344,69	61941,5	62400,0	
Река, вытекающая из оз. Плещеево							
1	Река Нерль ⁴ (Вёкса Плещеевская), от оз. Плещеево до р.Волга	СЗ	112	3270,0	н/св.	н/св.	Сток из озера, частично снеговое, дождевое, подземное
	в т.ч. от оз. Плещеево до оз. Сомино	СЗ	8,2	н/св.	56512,5	80000,0	

2.3 Режим уровня озера Плещеево

Наблюдения за уровнем воды в озере Плещеево ведутся с 1932 года и к настоящему времени (2024) период наблюдения составляет 93 года.

Гидрологический режим озера и его уровень, определяются, в основном, климатическими особенностями региона, геологическим строением водосбора и величиной площади водосборного бассейна. Сезонный ход уровня воды в озере Плещеево зависит от водного режима и водности источников, питающих озеро, а также от выклинивающихся в котловину озера стоков грунтовых и подземных вод. Кроме того, на уровень воды озера Плещеево оказывает определённое влияние городская водозабор и артезианские скважины, расположенные в водосборном бассейне озера, количество которых ежегодно растёт, а также эксплуатация ГТС (шлюза-регулятора) на р.Нерль (Вёкса Плещеевская) в с. Купанское Переславль-Залесского муниципального округа Ярославской области.

Весной, в период снегового половодья на реках, питающих озеро, приток воды в озеро резко возрастает, летом наоборот, увеличивается расход за счёт испарения. Это отражается на сезонном колебании уровня озера. Такой режим уровня озера типичен для водоёмов Европейской территории России. Наибольших значений он обычно достигает в

⁴ Длина и площадь водосбора по реке Нерль (Вёкса Плещеевская) приведена по данным Государственного водного реестра.

период со 2 апреля по 10 мая, спустя примерно 10 суток после начала половодья. В дальнейшем уровень воды плавно понижается и в октябре-декабре становится минимальным. В отдельные особенно дождливые годы можно наблюдать летнее или осеннее повышение уровня за счет дождевых паводков. В многоснежные годы с дружной весной интенсивность весеннего подъёма уровня может достигать 5-10 см/сутки. В малоснежные годы она не превышает 2-5 см/сутки. Летне-осеннее повышение уровня почти всегда уступает весеннему, интенсивность его намного меньше, растягивается оно на более длительный срок.

Амплитуда внутригодовых колебаний уровня невелика и в среднем составляет 65 см⁵. Колебания уровня воды в озере Плещеево зависят от водности р. Трубеж и всех остальных рек и ручьёв, впадающих в озеро, и находится в прямой зависимости от погодных условий года, и в первую очередь – от осадков и температуры воздуха. Максимальные уровни зафиксированы: весной 1926 г. (28 и 29 апреля) на отметке 138,19 м (БС), в 2013 г – на отметке 138,20 м (БС). Минимальные уровни наблюдались: в 1973 г – на отметке 136,94 м (БС), в 1975 г. – 136,99 м (БС) и 1976 г. – 136,95 м (БС). По данным Ярославского ЦГМС, за весь период инструментальных наблюдений самый максимальный уровень воды в озере Плещеево наблюдался в 2013 году (с 28 апреля по 2 мая) на отметке – 138,20 м (БС). А самый минимальный был зафиксирован в 1973 году на отметке – 136,94 м (БС). По данным Ярославского ЦГМС (месячный бюллетень за апрель 2017г.), при достижении уровня воды в озере Плещеево отметки = 138,07 м (БС) – считается опасным явлением (ОЯ).

Следует отметить, что характер изменения уровня в многоводные и маловодные периоды практически не меняется.

Среднегодовые уровни воды в озере Плещеево за период 1932-2024 гг. до строительства и после строительства гидротехнического сооружения (ж/б шлюза-регулятора) в теле земляной плотины на р. Нерль (Вёкса Плещеевская) в с. Купанское в Переславль-Залесском муниципальном округе Ярославской области приведены в таблице 2.

Исходя из данных, приведенных в таблице 2, был построен график среднегодовых уровней воды за период 1932-2024 гг. (93 год). Показатели среднегодовых уровней воды приведены над нулём графика поста, равного отметке 136,92 м (БС).

По графику среднегодовых уровней воды за 1932-2024 гг. видно, что заметное повышение уровня озера Плещеево отмечается с 1976 года - с момента окончания строительства гидротехнического сооружения (ж/б шлюза-регулятора) в теле земляной плотины на р. Нерль (Вёкса Плещеевская) в с. Купанское в Переславль-Залесском муниципальном округе Ярославской области.

Кроме того, на отрезке 1959-1975 гг. можно наблюдать устойчивый тренд к понижению уровня воды в озере с 55 до 18 см над нулём поста. Согласно архивным данным, с конца 1959-х годов на Берендеевом болоте, из которого берет начало р. Трубеж (основной приток озера Плещеево) началась интенсификация торфоразработок, в 1959 году был построен торфобрикетный завод, а в 1960-1970 – в целях понижения уровня грунтовых вод были

⁵ по данным Ярославского ЦГМС

проведены осушительные мелиорации, сопровождающиеся строительством открытых дренажных канав, а также магистральных, валовых и нагорных каналов. В результате, был нарушен природный водный баланс и произошла техногенная трансформация рельефа Берендеево болота, перераспределение стока воды из бассейна р. Трубеж (и соответственно озера Плещеево) в бассейн р. Клязьмы (в р. Малый Киржач). Питание р. Трубеж за счет поверхностных вод болота Берендеево было практически отрезано. Это стало одной из главных причин обмеления озера.

Таблица 2. Показатели среднегодовых уровней воды приведены над нулём графика поста равного отметке 136,92 м (БС).

Table 2. The indicators of the average annual water levels, which are above the zero point on the fasting schedule and equal to 136.92 meters (BS).

За период 1932 – 1975гг. (44 года)				За период 1976 – 2024гг. (49 лет)			
Годы	Уровень, см	Годы	Уровень, см	Годы	Уровень, см	Годы	Уровень, см
1932	44	1954	30	1976	48	1998	85
1933	46	1955	43	1977	52	1999	71
1934	42	1956	48	1978	58	2000	58
1935	52	1957	45	1979	58	2001	74
1936	43	1958	48	1980	63	2002	62
1937	28	1959	55	1981	51	2003	61
1938	28	1960	43	1982	55	2004	72
1939	31	1961	38	1983	59	2005	74
1940	29	1962	46	1984	62	2006	61
1941	38	1963	43	1985	68	2007	69
1942	44	1964	21	1986	69	2008	71
1943	40	1965	31	1987	70	2009	59
1944	32	1966	38	1988	55	2010	64
1945	35	1967	22	1989	58	2011	57
1946	43	1968	27	1990	70	2012	79
1947	45	1969	33	1991	80	2013	80
1948	35	1970	39	1992	67	2014	64
1949	30	1971	32	1993	79	2015	59
1950	48	1972	30	1994	73	2016	73
1951	42	1973	27	1995	66	2017	85
1952	42	1974	26	1996	54	2018	79
1953	56	1975	18	1997	73	2019	67
						2020	81
						2021	70
						2022	68
						2023	58
						2024	68

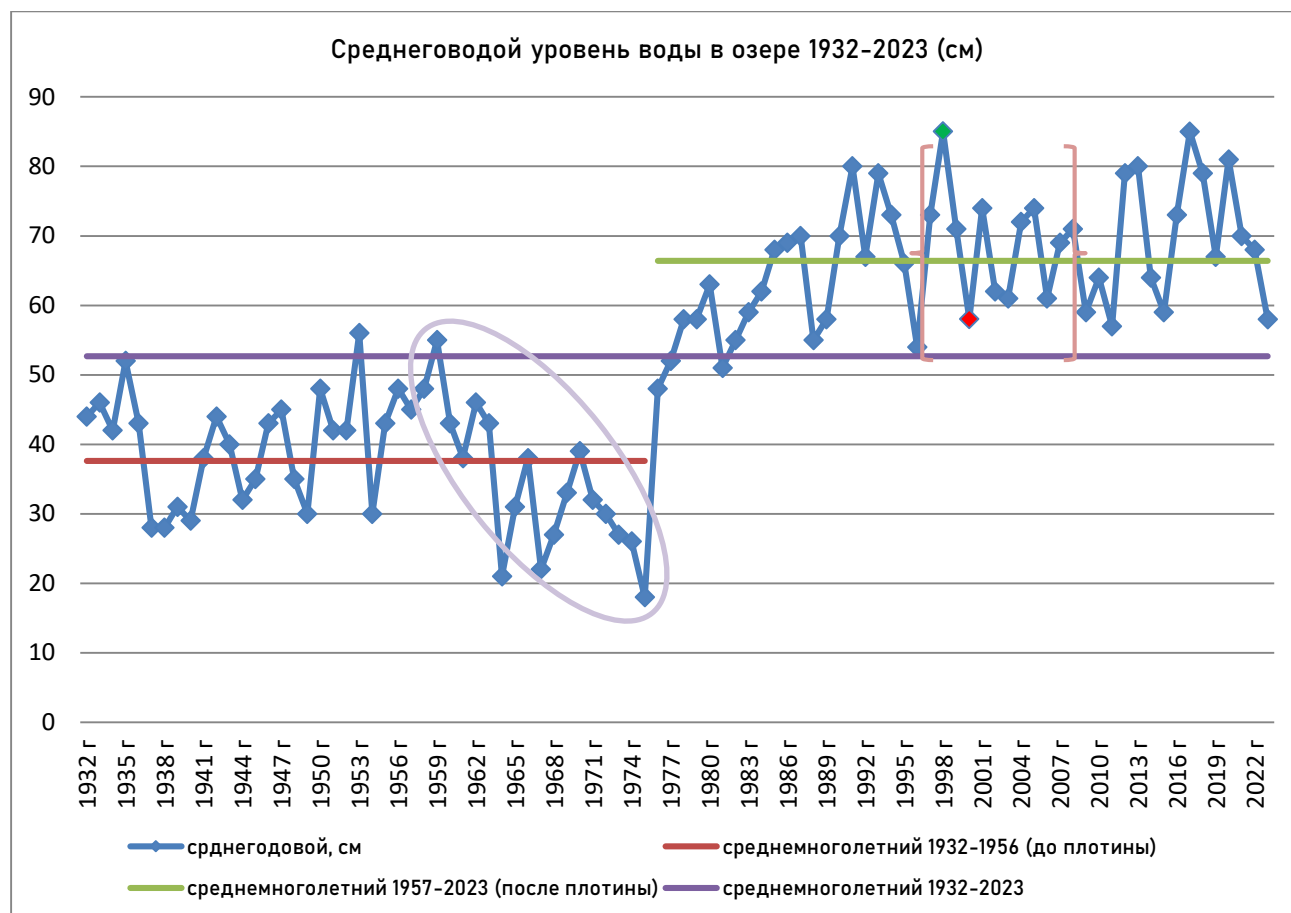


Рис. 5. Среднегодовой уровень воды в озере Плещеево за период 1932-2024 гг.

Fig. 5. The average annual water level in Lake Pleshcheyevo for the period 1932-2024

Кроме того, в окрестностях с. Купанское, в том числе и на водосборе ручья Валовая канава с 1931 г., в течение нескольких десятилетий также велась активная разработка торфяных болот. Для добычи торфа были проведены осушительные мелиорации, сопровождающиеся строительством открытых дренажных канав в целях понижения уровня грунтовых вод, что также оказало существенное влияние на отток воды из чаши озера в северо-западном направлении, в сторону Волжско-Нерльской низины. В те годы добыча торфа также проводилась в Блудовом болоте (исток р. Язёвка) и других. Поэтому было принято решение о строительстве регулируемой плотины на р. Нерль (Вёкса Плещеевская).

Характерной особенностью режима уровня в озере Плещеево является наличие двух типов годового хода уровня в зависимости от водности года.

Первый тип – минимальный уровень наблюдается в октябре – ноябре и с декабря начинается его медленное повышение. Интенсивный весенний подъём уровня отмечается в конце марта – начале апреля и максимальных значений он достигает в середине апреля. Затем наблюдается постепенное понижение уровня до минимальных значений. Этот тип годового хода уровня характерен для маловодных и средних по водности лет.

Второй тип – минимальный уровень приходится на ноябрь – декабрь, а в отдельные годы – на январь – февраль. Интенсивный подъём уровня начинается в апреле, но максимальный уровень отмечается во второй его половине или в начале мая. Второй

максимум уровня может наблюдаться в июле или осенью, вследствие интенсивных дождевых паводков. Этот тип хода годового уровня характерен для многоводных лет.

Между тем в последние годы отмечаются изменения годового хода уровня, что связано с погодными условиями – потеплением климата, повышением температуры воздуха, особенно в зимний период и увеличением количества выпадающих осадков.

В 2019 году ход уровня соответствовал первому типу годового хода (маловодному году). В 2020 году ход уровня воды соответствовал второму типу годового хода уровня (многоводному году). Вместе с тем, наблюдавшиеся сроки начала подъёмов уровня воды в 2020 году в озере, как весеннего, так и летнего, значительно отличались от вышеуказанных сроков и были смещены на более ранние сроки. Это произошло из-за аномально тёплой погоды, наблюдавшейся в зимне-весенний период 2020 года. Интенсивный подъём уровня воды в озере Плещеево в 2020 году начался (раньше обычных сроков) в конце февраля и достиг максимума 24 марта с отметкой 137,90 м. (БС). С 3 апреля начался постепенный спад уровня, который продолжался до 31 мая и достиг отметки 137,77 м. (БС). Соответственно понижение уровня воды в озере Плещеево после первого подъёма за данный период составила 0,13 метра. Второй подъём уровня воды начался с 1 июня (также раньше обычных сроков) и достиг максимума 28 июня с отметкой 137,93 м (БС), превысив максимальный весенний уровень на 3 см. Спад уровня начался со 2 августа (значительно позже обычных сроков) и продолжался до конца года. Отмеченный ход уровня в течение 2020 года не наблюдался за последнее десятилетие. В целом в 2020 г. уровень воды в озере Плещеево не понижался ниже отметки среднемноголетнего уровня - 137,47 м (БС), по состоянию на 31 декабря 2020 года – соответствовал отметке 137,51 м (БС).

В 2021 году ход уровня наблюдался в обычном режиме и соответствовал второму типу годового хода уровня (многоводному году). В 2022 году ход уровня соответствовал первому типу годового хода уровня (маловодному году). Между тем, в 2022 году произошло не характерное падение уровня воды в озере Плещеево. С одной стороны – из-за недобора осадков и продолжительных высоких температур воздуха, наблюдавшихся в летний период, спровоцировавших маловодье на всех притоках озера Плещеево, с другой стороны – из-за ненадлежащей эксплуатации ГТС (шлюза-регулятора) на р.Нерль (Вёкса Плещеевская) в с. Купанское. В 2023 году ход уровня наблюдался в обычном режиме и соответствовал первому типу годового хода уровня (маловодному году). В 2024 году ход уровня соответствовал второму типу годового хода уровня (многоводному году).

В 2019, 2020, 2021, 2023 и 2024 годах уровень воды в озере Плещеево не понижался ниже среднемноголетней величины, которая составляет – 137,47 м (БС). В маловодном 2022 году уровень воды в озере Плещеево в период с 15 по 25 сентября уровень воды снижался до отметки 137,28 м (БС), что не наблюдалось за последние 19 лет. Графики уровня воды за 2019 - 2024 гг. приведены на рис. 6.

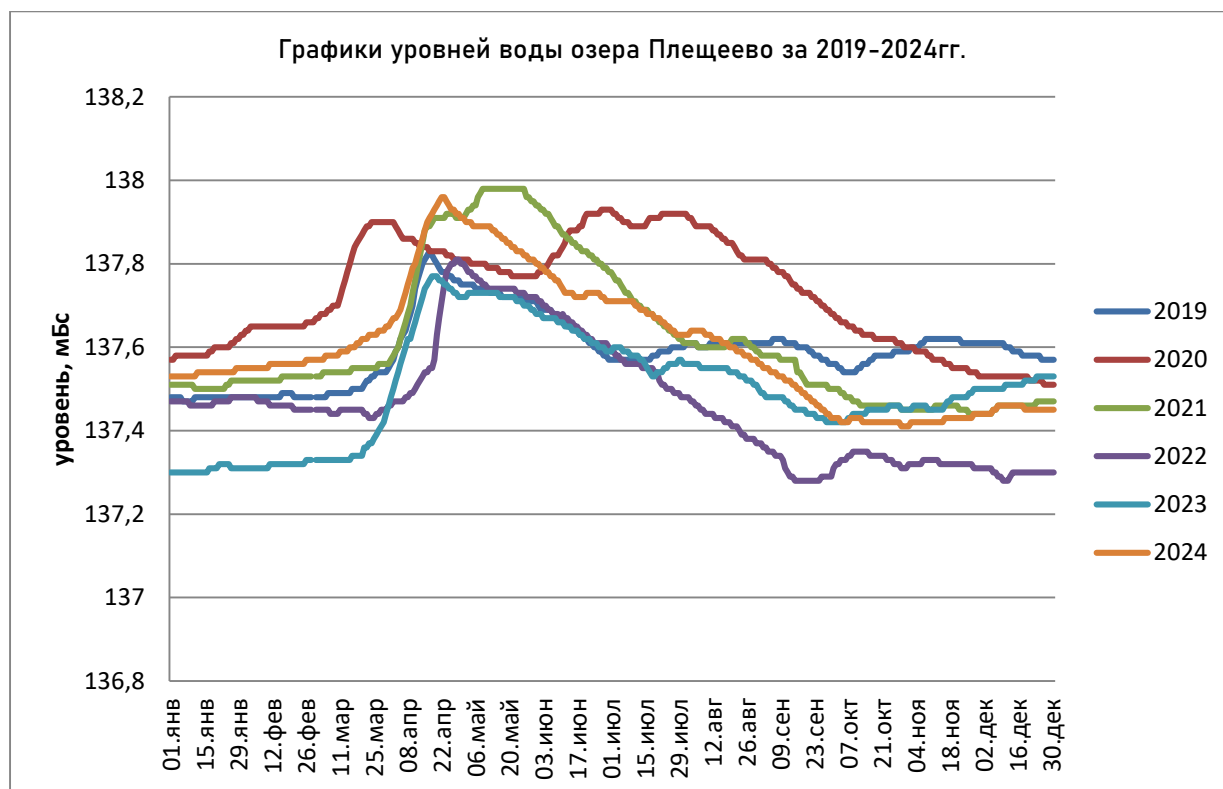


Рис. 6. Графики уровня воды озера Плещеево за 2019 – 2024 гг.
Fig. 6. Graphs of the water level of Lake Pleshcheyevo for 2019–2024.

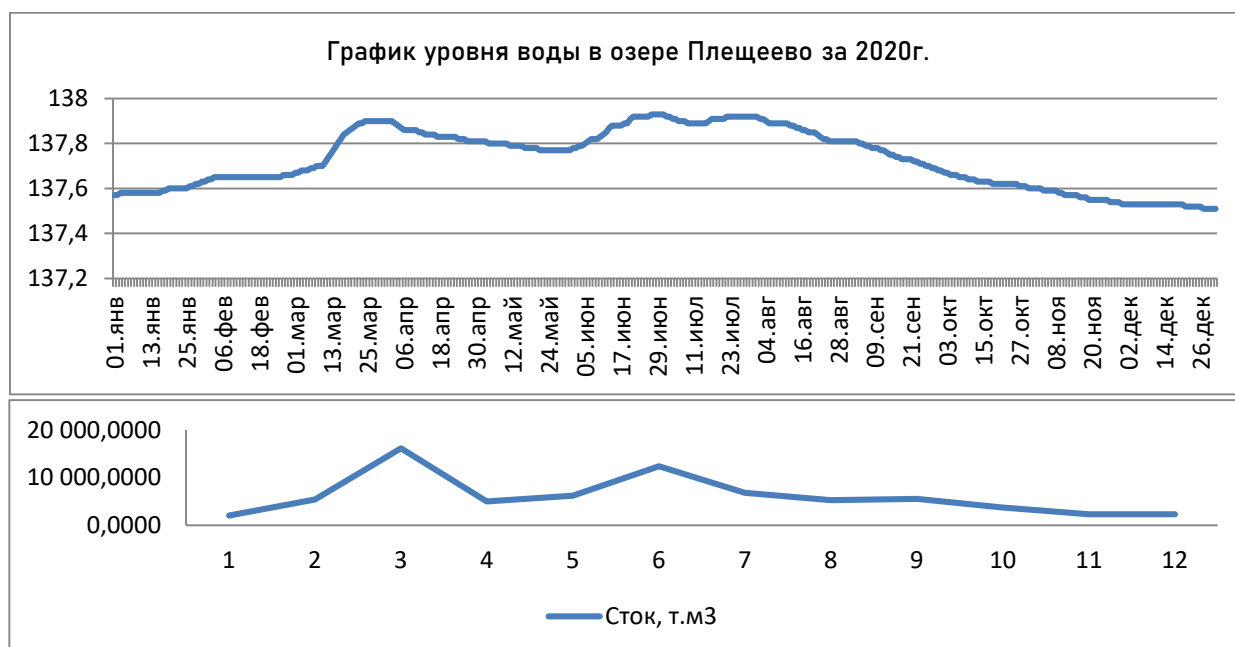


Рис. 7. Сравнение графика внутригодового хода уровня воды в озере Плещеево с гидрографом стока р.Трубеж за 2020 год
Fig. 7. Comparison of the graph of the intraannual course of the water level in Lake Pleshcheyevo with the hydrograph of the river runoff.Trubezh for 2020

Сравнивая, приведённые графики рис. 7 внутригодового хода уровня в озере Плещеево и стока р. Трубеж за 2020 год следует отметить, что сезонный ход уровня воды в озере Плещеево зависит от водности источников, питающих озеро, и повторяет график стока реки Трубеж (главного притока озера), имеющий преимущественно поверхностное питание.

Кроме того, для озера Плещеево характерны периодические многолетние и сезонные колебания уровня, которые зависят от величины стоков р.Трубеж и всех остальных притоков, питающих озеро. Немаловажное значение на уровень воды в озере также оказывает приток воды в котловину озера из подземных горизонтов.

2.4 Водный баланс озера Плещеево

Анализ водного баланса озера является ключевым при его изучении. Необходимо знать, сколько воды попадает в водоём с поверхностным и подземным стоком, с атмосферными осадками и сколько вытекает из него и испаряется. Количество воды, попадающей в водоём и уходящей из него, бывает примерно равным, это и составляет его водный баланс. Однако, в случае, если количество воды, попадающей в водоём будет больше, чем уходящей из него, то произойдёт аккумуляция (наполнение) запаса (объёма) воды в водоёме. В случае, если количество воды, уходящей из водоёма, будет больше количества воды, попадающей в водоём, то произойдёт уменьшение запасов воды в водоёме.

Попытка составления водного баланса предпринималась неоднократно в прошлом столетии. Однако из-за отсутствия длительных и надёжных наблюдений за стоком р.Трубеж (основной приток) и р. Нерль (Вёкса Плещеевская – единственный исток), стоком малых рек и ручьёв, впадающих в озеро, а также отсутствие данных о подземном притоке и подземном оттоке из озера (боковой фильтрации) не представлялось возможным составить водный баланс озера Плещеево близкий к действительному.

Согласно оценке среднемноголетнего водного баланса, составленного в 1985 г. сотрудниками ИБВВ АН СССР [1], приходная часть составляет всего 92,8 млн. м³, из них:

- сток из р.Трубеж составляет 48,6 млн. м³ (52,4%);
- сток из всех остальных малых рек и ручьёв – 13,8 млн. м³ (14,6%);
- осадки на водное зеркало – 30,4 млн. м³ (32,8%).

Расходная часть всего 104,7 млн. м³, из них:

- сток р.Нерль (Вёкса Плещеевская) – 80,0 млн. м³ (76,4%);
- испарение с водного зеркала – 24,7 млн. м³ (23,6%).

Баланс по (поверхностный приход – расход) Δ Пов составил: $104,7 - 92,8 = 11,9$ млн. м³. При этом полная смена вод озера по оценкам на 1989 г. происходит примерно за 5,5 лет (см. таблица 3).

Предложенный водный баланс озера Плещеево в среднемноголетнем исчислении, выполненный В.Л. Рохмистровым [2] в 2000 году, показал, что ежегодно в него поступает с поверхностным стоком 93,6 млн. м³ воды, осадки на водное зеркало составляют 29,5 млн. м³. Соответственно, приходная часть составляет 123,1 млн. м³. Расходная часть составляет всего 142,5 млн. м³, из них:

- сток р.Нерль (Вёкса Плещеевская) – 107,9 млн. м³;
- городской водозабор – 5,7 млн. м³;
- испарение с водного зеркала – 28,9 млн. м³.

Баланс по (поверхностный приход – расход) $\Delta P_{ов}$ составил: $142,5 - 123,1 = 19,4$ млн. м³. При этом полная смена вод озера происходит примерно за 3,8 года (см. таблица 3).

Значительная работа по уточнению водного баланса озера Плещеево проделана сотрудниками Национального парка «Плещеево озеро». Начиная с 2019 года и по настоящее время проводится гидрологический мониторинг на всех притоках, впадающих в озеро Плещеево, а также на вытекающей из него р. Нерль (Вёкса Плещеевская). На каждой исследуемой реке и ручье для измерения поверхностного стока и взятия проб воды для химического анализа на содержание загрязнителей был выбран створ с учётом гидрометрических требований (прямолинейный участок на водотоке, с одинаковым сечением русла водотока на данном участке, с равномерным движением воды и отсутствием подпора). Были проведены измерения глубины и ширины русла рек и ручьёв, а также промеры глубин воды.

Глубина водного потока на малых реках и ручьях была измерена с помощью рейки гидрометрической ГР-56-01, на отдельных маленьких ручейках – с помощью промерной линейки длиной 1 метр. На крупных водотоках, реках Трубеж и Нерль (Вёкса Плещеевская) тросом с разметкой с металлическим грузом 0,5 кг. По данным измерений были построены поперечные профили живого сечения водного потока по всем рекам и ручьям и определены их площади в местах промерных створов. Скорость течения воды в русле реки/ручья определяется аналитическим способом по наибольшей поверхностной скорости течения, с использованием поверхностных поплавков.

Фактические расходы воды на всех реках и ручьях определяются расчётным способом. Среднемесячные показатели определяются как среднее арифметическое по всем замерам за месяц. На основании вычисленных среднемесячных стоков производится построение гидрографов стоков воды для р.Трубеж и всех остальных притоков озера Плещеево и р.Нерль (Вёкса Плещеевская).

В связи с отсутствием данных о подземном притоке и подземном оттоке (боковой фильтрации), то при составлении водного баланса эти показатели не учитывались. Данные наблюдений и расчетов за период 2019-2024 гг. также представлены в таблице 3.

Уравнение водного баланса рассматривалось в упрощённом виде с учетом только основных составляющих прихода и расхода, а также изменения запаса воды в озере за расчётный период (год).

$$(Q_{пр} + P_{оз}) - (Q_о + V_{гв} + E_{оз}) = \Delta V_{оз} \pm \Delta W, \text{ где:}$$

$Q_{пр}$ – приток речных вод в озеро (суммарный годовой сток всех притоков), млн. м³;

$P_{оз}$ - осадки, выпадающие на водное зеркало озера, млн. м³;

$Q_о$ - речной отток из озера (сток р. Нерль (Вёкса Плещеевская), млн. м³;

$V_{гв}$ - объём городского водозабора, млн. м³;

$E_{оз}$ - испарение с водного зеркала озера, млн. м³;

$\Delta V_{оз}$ – разница в объеме воды в озере в конце и в начале года;

$\pm W$ - невязка водного баланса озера.

Суммарный поверхностный приток воды в озеро Плещеево из р.Трубеж и всех малых рек и ручьёв $Q_{пр}$, а также отток воды из озера через р. Нерль (Вёкса Плещеевская) определялись по данным гидрологического мониторинга, проводимого Национальным парком «Плещеево озеро».

Данные по объёму городского водозабора $V_{гв}$ предоставлены эксплуатирующей организацией за расчётный период.

Объём осадков, выпадающих на поверхность озера, $P_{оз}$ определялся расчётным путём по формуле: $P_{оз} = F_{вз} * K_{ос}$, где $F_{вз}$ - площадь водного зеркала, $K_{ос}$ – количество выпавших осадков на водное зеркало за расчётный период (по данным метеостанции, находящейся в г. Переславль-Залесский). В связи с отсутствием современных данных по испарению воды с поверхности озера, для определения этой расходной величины также были использованы расчетные методы⁶.

Площадь водного зеркала $F_{вз}$, а также объем воды в озере $V_{оз}$ рассчитывалась по таблицам [1] на основании данных по уровню воды в озере, предоставленных филиалом Ярославского ЦГМС.

На основании результатов проведённого в 2019 – 2024 гг. гидрологического мониторинга на р.Трубеж и всех остальных притоках озера, а также на р.Нерль (Вёкса Плещеевская) вытекающая из озера, а также данных, предоставленных партнерскими организациями, сотрудниками научного отдела парка были определены основные составляющие приходной и расходной части водного баланса озера Плещеево.

Важной гидрологической характеристикой озера, во многом определяющей особенности функционирования его экосистемы, является величина внешнего водообмена. Она представляет собой отношение объёма водной массы озера Плещеево к общему расходу воды из него за год и показывает, за какой период времени может произойти полная смена воды в водоёме. В 2019 году, согласно расходу воды из озера (сток в истоке р.Нерль (Вёкса Плещеевская) + городской водозабор + испарение), эта величина составила 7,4 года, в 2020 году – 4,9 года, 2021 году – 5,8 года, 2022 году – 6,1 года, 2023 году – 6,1 и 2024 году – 6,0 лет. Средняя величина внешнего водообмена за период 2019-2024 гг. составила 6,0 лет. Проточность озера, рассчитанная по данным ИБВВ РАН [1] за 1983-1985 гг., составила 5,5 лет; по данным Рохмистрова [2] – 3,8 лет. Однако, на наш взгляд, эти данные требуют более тщательного рассмотрения.

В целом, результаты подтверждают, что озеро Плещеево относится к водоёмам замедленного водообмена и является весьма восприимчивым к антропогенному воздействию.

⁶ Государственный гидрологический институт Главного управления гидрометслужбы при Совете Министров СССР, «Указания по расчёту испарения с поверхности водоёмов», Ленинград, 1969г.

Таблица 3. Сопоставительная таблица водного баланса озера Плещеево за 1970, 1985, 2000, 2019–2024 гг.

Table 3. Comparative table of the water balance of Lake Pleshcheyevo for 1970, 1985, 2000, 2019–2024.

Составляющие водного баланса	По данным ИБВВ АН СССР[1]		По данным Рохмистрова [2]		По данным ФГБУ «Национальный парк «Плещеево озеро»											
	1985 год		2000 год		2019 год		2020 год		2021 год		2022 год		2023г.		2024г.	
	Млн. м³	Доля в %	Млн. м³	Доля в %	Млн. м³	Доля в %	Млн. м³	Доля в %	Млн. м³	Доля в %	Млн. м³	Доля в %	Млн. м³	Доля в %	Млн. м³	Доля в %
	Млн. м³	Доля в %	Млн. м³	Доля в %	Млн. м³	Доля в %	Млн. м³	Доля в %	Млн. м³	Доля в %	Млн. м³	Доля в %	Млн. м³	Доля в %	Млн. м³	Доля в %
Сток р.Трубеж	48,6	52,4	85,5	69,5	32,1	46,9	73,1	60,0	53,3	53,4	48,9	58,9	54,3	56,4	50,9	57,5
Суммарный сток всех малых рек и ручьёв	13,8	14,9	8,1	6,6	5,3	7,7	11,8	9,7	11,1	11,1	9,2	11,1	10,4	10,8	10,5	11,9
Осадки на водное зеркало	30,4	32,8	29,5	24,0	31,1	45,4	36,9	30,3	35,5	35,5	24,9	30,0	31,5	32,7	27,1	30,6
Суммарный приход, Р	92,8	100	123,1	100	68,5	100	121,8	100	99,9	100	83	100	96,2	100,0	88,5	100
Сток р.Нерль (Вёкса Плещеевская)	80	76,4	107,9	75,7	39,3	53,2	77	69,1	60	63,8	52,7	60,6	53,2	60,9	56,9	62,0
Городской водозабор	0	0,0	5,7	4,0	7,3	9,9	7	6,3	6,6	7,0	7	8,1	7	8,0	7,6	8,3
Испарение с водного зеркала	24,7	23,6	28,9	20,3	27,3	36,9	27,5	24,7	27,4	29,1	27,2	31,3	27,2	31,1	27,3	29,7
Суммарный расход, R	104,7	100	142,5	100	73,9	100	111,5	100	94	100	86,9	100	87,4	100	91,8	100
Баланс по (поверх. приход – расход), Δ Пов	-11,9		-19,4		-5,4		10,3		5,9		-3,9		8,8		-3,3	
Объем воды в озере(расчет по уровню), V:																
- на начало года	-	-	-	-	542	-	546,5	-	543,5	-	541,6	-	533	-	544,5	-
- на конец года	576	-	[538,8]	-	546,5	-	543,5	-	541,6	-	533	-	544,5	-	540,6	-
Изменение объема воды за год, Δ V	-	-	-	-	4,5	-	-3	-	-1,9	-	-8,6	-	11,5	-	-3,9	-
Невязка баланса ± Δ W	-3,2		1,2		9,9		-13,3		-7,8		-4,8		2,8		-0,6	
Проточность	5,5		3,78		7,4		4,9		5,8		6,1		6,1		5,9	

Исследование выполнено в рамках исследовательского проекта «Интеллектуальный хранитель наследия «Плещеево озеро» при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» <https://rgo.ru/>.

Библиография

1. Экосистема озера Плещеево. – Л.: Наука, 1989. – 264 с.
2. Рохмистров В.Л. Плещеево озеро: гидрологический очерк. – Ярославль: Издание ВВО РЭА, 2002. – 90 с.

The Hydrological Regime of Lake Pleshcheevo

Suren H. Khachaturov¹ *

¹ Pleshcheyevo Lake National Park, Pereslavl-Zalessky (Yaroslavskaya reg.), Russia

*suren.nauka@mail.ru

Keywords hydrological regime, Pleshcheyevo lake, water balance, lake flow rate

Abstract The article provides an analysis of the hydrological regime of Lake Pleshcheyevo and its tributaries, as well as an assessment of the water balance and flow rate of the lake, based on archival data and recent observations from the National Park "Pleshcheyevo Lake" over the period 2019-2024.