

**Сведения об авторах****Обухов Евгений Васильевич**

доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, действительный член Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы; УО, Украина, г. Одесса; e-mail: e.obukhov@mail.ru

**Корецкий Евгений Павлович**

заведующий гидрологическим отделом Каховской гидрометеорологической обсерватории; Украина, 74344, Херсонская область, Бериславский район, с. Веселе; e-mail: gidrotuz@mail.ru

**About the authors****Yevgeny V. Obukhov**

Doctor of Economic Sciences, Candidate of Technical Sciences, Professor, Academician of the Ukrainian Division of International Academy of Ecology and Life Protection Sciences, Odessa, Ukraine; e-mail: e.obukhov@mail.ru

**Evgen P. Koretsky**

Head of the Hydrological Department, Hydrometeorological Observatory Kakhovka; Vesele, Berislavsky district, Kherson region, 74344, Ukraine; e-mail: gidrotuz@mail.ru

**Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

Обухов Е.В., Корецкий Е.П. Исследование влияния водности года на интенсивность внешнего водообмена днепровских водохранилищ // Географический вестник = Geographical bulletin. 2016. № 3(38). С. 62–71. doi 10.17072/2079-7877-2016-3-62-71

**Please cite this article in English as:**

Obukhov E.V., Koretsky E.P. Study of water content effects on the intensity of the external water exchange in the Dnieper reservoirs // Geographical bulletin. 2016. № 3(38). P. 62–71. doi 10.17072/2079-7877-2016-3-62-71

УДК 556.552

**О.А. Первощикова, В.Г. Калинин****ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА КАМСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ В ВЕСЕННИЙ И ОСЕННИЙ ПЕРИОДЫ***Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь*

Показано влияние морфометрических особенностей камских водохранилищ на характер пространственной неоднородности температуры воды. В качестве критериев оценки использованы интегральные безразмерные морфометрические коэффициенты  $K_{mn}$  и  $K_m$ , отражающие соотношение площадей и глубин таксономических единиц гидроморфологического районирования водохранилищ. Исследование выполнено по материалам многолетних наблюдений за температурой воды на Камском и Воткинском водохранилищах. Получены статистически значимые зависимости температуры воды в осенне-весенний периоды от морфометрических коэффициентов  $K_{mn}$  и  $K_m$ .

Ключевые слова: водохранилище, особенности морфометрии, пространственная неоднородность температуры воды, районирование.

**О.А. Perevoshchikova, V.G. Kalinin****PATTERNS OF WATER TEMPERATURE SPATIAL DISTRIBUTION IN THE KAMA RESERVOIRS IN THE SPRING AND AUTUMN PERIODS***Perm State University, Perm*

The influence of the Kama reservoirs morphometric characteristics on the nature of spatial inhomogeneity of the water temperature is shown. Integral morphometric coefficients, showing the ratio of the areas and

depths of taxonomic unites of the reservoirs' hydro-morphological zoning, are used as the evaluation criteria. The study has been carried out on the basis of long-term observation of the water temperature in the Kama reservoirs. The authors have obtained statistically significant dependences between the water temperature in the autumn-spring periods and morphometric coefficients  $K_m$  and  $K_{mp}$ .

**Key words:** reservoir; features of morphometry; spatial inhomogeneity of water temperature, zoning.

doi 10.17072/2079-7877-2016-3-71-78

Термический режим водохранилищ формируется под влиянием разнообразных факторов, которые можно подразделить на две основные группы. Первая группа включает в себя различные виды поступлений и потерь тепла водой. Ко второй группе относятся факторы, благодаря которым поступившее тепло перераспределяется внутри водной толщи. Обе группы процессов протекают одновременно и находятся во взаимодействии. Очевидно, что при одинаковом удельном поступлении тепла на поверхность воды значение температуры и ее изменчивость по вертикали зависят от глубины. Что касается размеров водной поверхности, то они в значительной степени определяют интенсивность ветрового воздействия на температурный режим [2].

Процессы нагревания и охлаждения в водохранилищах имеют свои особенности не только по длине акватории, но и во времени. Н.В. Буториным [1] для водохранилищ выделено четыре гидрологических сезона по комплексу характеристик режима. Гидрологическая весна начинается после наступления минимума теплозапаса, с началом подледного прогрева воды и наполнения водохранилища, и заканчивается с прекращением наполнения. Она характеризуется интенсивным прогревом и резко выраженной горизонтальной, а в конце сезона – и вертикальной неоднородностью распределения температуры. Гидрологическое лето начинается с окончанием весеннего наполнения водохранилища и интенсивного прогрева его вод, а заканчивается моментом максимального теплозапаса и температуры воды. Гидрологическая осень начинается обычно со второй половины августа с увеличением сброса вод из водохранилища, началом интенсивного охлаждения водной толщи, благодаря возросшему теплообмену, ветровому перемешиванию и заканчивается с появлением ледяных образований. Гидрологическая зима наступает с ледоставом. В этот период продолжают интенсивную работу водохранилища и увеличение водообмена. В зимний сезон на проточных участках температура воды понижается, а на застойных – наблюдается повышение придонной температуры в результате теплоотдачи дна.

Одним из основных методов изучения теплообменных процессов и определения их количественных характеристик является балансовый метод.

Следует отметить, что при использовании метода теплового баланса для исследования термического режима водохранилищ практически не учитывается влияние их морфометрических особенностей на рассматриваемые процессы. В то же время различия в морфологии и морфометрии отдельных частей водохранилищ оказывают существенное влияние на характер и интенсивность теплообменных процессов, трансформируют воздействие природных факторов и хозяйственной деятельности человека на термический режим искусственных водоемов [4].

Впервые в ясно выраженном виде учет этих особенностей показан в работе В.М. Носкова [6] при изучении влияния морфометрии на термический режим Камского водохранилища. Им выполнен расчет составляющих уравнения теплового баланса с целью определения вклада каждого из них для четырех гидроморфологических районов водохранилища согласно районированию, предложенному Ю.М. Матарзиным, И.К. Мацкевичем [4].

В результате исследований В.М. Носковым [6] установлено, что интенсивность теплообменных процессов неодинакова в мелководной (теплоактивной) и глубоководной (теплоинертной) зонах водохранилища. В период весенне-летнего нагревания максимальные значения радиационного баланса, потерь тепла на испарение, а также теплового потока, направленного от воды к грунту, характерны для районов с наибольшими объемами и площадями мелководной зоны, в то время как максимальные величины турбулентного теплообмена с атмосферой наблюдаются в районе с наибольшим объемом глубоководной зоны. В период осеннего охлаждения картина меняется на противоположную.

Предложенный В.М. Носковым [6] коэффициент, представляющий собой отношение объемов воды теплоактивной мелководной и теплоинертной глубоководной зон гидрографического района, по нашему мнению, не полностью отражает особенности районов. В действительности, при одних и тех же объемах водных масс процессы теплообмена будут протекать интенсивнее в тех районах, где

площадь поверхности воды больше. На интенсивность процессов теплообмена наряду с площадью оказывают влияние и глубина района: чем больше доля глубоководной зоны в пределах района, тем медленнее будут происходить нагревание и охлаждение водных масс.

Поэтому именно соотношение площадей и глубин глубоководной, мелководной и прибрежной зон в пределах выделенных таксонов водохранилища (а не объемов, поскольку при одних и тех же объемах соотношение площадей и глубин может быть различным) в комплексе объективно отражает роль морфометрического фактора [3]. При этом учет прибрежной зоны обязателен, поскольку именно в этой зоне быстрее всего происходят прогрев и выхолаживание водных масс в весенний и осенний периоды.

Соотношение площадей и глубин этих зон в пределах выделенных таксонов водохранилища может быть представлено в следующем виде:

$$K_S = \frac{S_{\bar{ii}}}{S_{\bar{a}}}, K_h = \frac{h_{\bar{ii}}}{h_{\bar{a}}}, \quad 1$$

где  $S_{nm}$ ,  $S_z$  – площади ( $m^2$ ),  $h_{nm}$ ,  $h_z$  – средние глубины (м) прибрежной (пм), мелководной (м) и глубоководной (г) зон выделенного участка.

Как видно из этих формул, с увеличением доли площади глубоководной зоны, равно как и с увеличением ее средней глубины при переходе от одного участка к другому, значения этих параметров уменьшаются. Таким образом, эти два безразмерных параметра характеризуют форму ложа участков водохранилища в разных плоскостях.

Учет обоих параметров возможен в виде морфометрического коэффициента  $K_M$ :

$$K_M = \frac{S_{nm}}{S_z} \times \frac{h_{nm}}{h_z}. \quad 2$$

В качестве критериев оценки влияния морфометрических особенностей на характер пространственной неоднородности температуры воды также можно использовать морфометрический коэффициент  $K_{mn}$ , отражающий соотношение площадей и глубин таксономических единиц районирования водохранилищ [7]:

$$\hat{E}_{ii} = \frac{B_u}{h}, \quad 3$$

где  $B_u$  – интегральный показатель ширины, равный отношению площади  $S$  ( $km^2$ ) участка водохранилища к его длине  $l$  (м),  $h$  – средневзвешенная глубина этого участка (м).

Предложенные коэффициенты использованы нами в качестве критериев районирования Камского и Воткинского водохранилищ (рис. 1). В результате были уточнены не только границы районов и участков выполненного ранее районирования Ю.М. Матарзиным, И.К. Мацкевичем [4], но и их количество. Так, по коэффициентам  $K_M$  и  $K_{mn}$  на Камском водохранилище выделено 4 района и 15 участков [7], на Воткинском – 3 района и 8 участков, с квазиоднородными морфометрическими условиями (рис. 1).

Для решения поставленной задачи необходимы детальные наблюдения на рейдовых вертикалях. Наиболее подробные наблюдения осуществлялись в начальный период существования водохранилищ. Так, на Камском водохранилище в период с 1956 по 1968 г. общее количество вертикалей составляло более 30. С 1969 по 1980 г. их количество сократилось до 11, в 1990-х гг. – до 5, а с 2000 г. рейдовые наблюдения не проводятся совсем, что осложняет выполнение детального анализа термики водохранилища. В связи с этим нами использованы данные наблюдений [5] за температурой воды по максимальному количеству (30 для Камского и 25 для Воткинского) вертикалей (рис. 1). Исследования проведены для периодов весенне-летнего нагревания (май–июнь) и осеннего охлаждения (август–сентябрь) водоема. Предварительная обработка данных наблюдений заключалась в расчете средней температуры воды по глубине на вертикалях, а затем между вертикалями в пределах выделенных участков в новых границах.

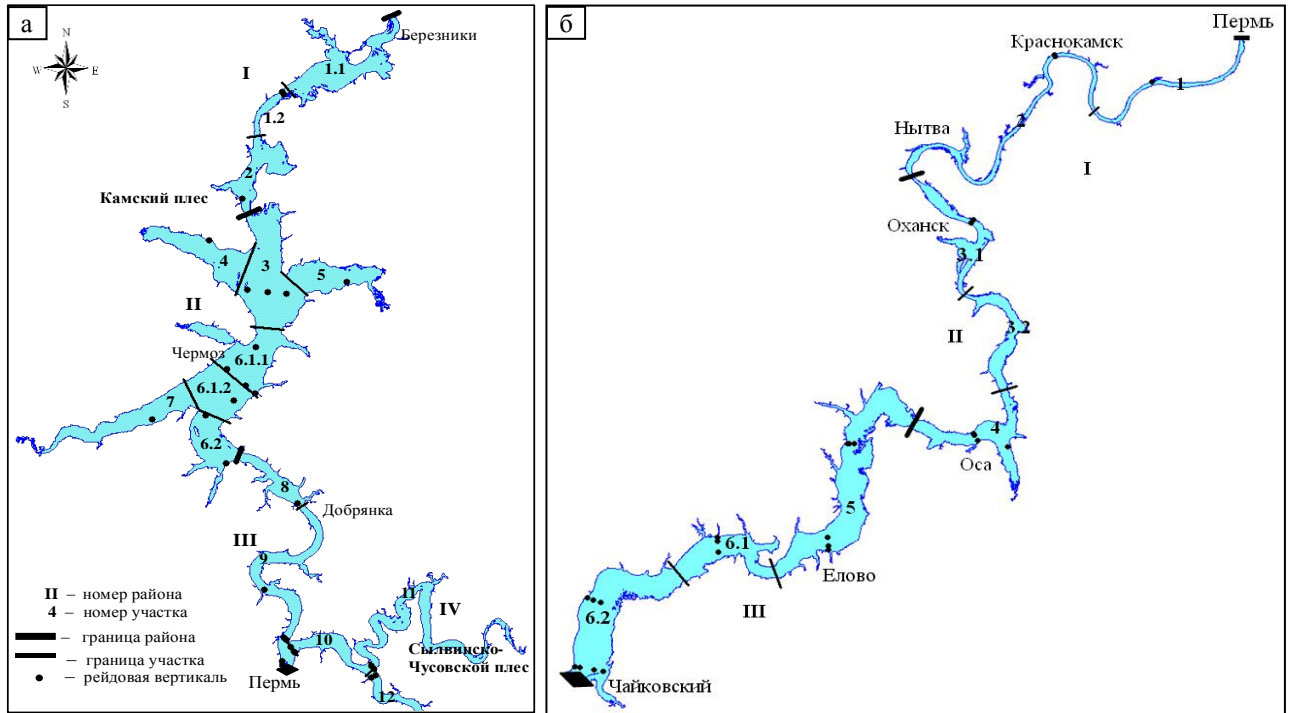


Рис. 1. Местоположение рейдовых вертикалей и границы районов и участков:  
а – Камского; б – Воткинского водохранилищ по коэффициентам  $K_M$  и  $K_{Mn}$

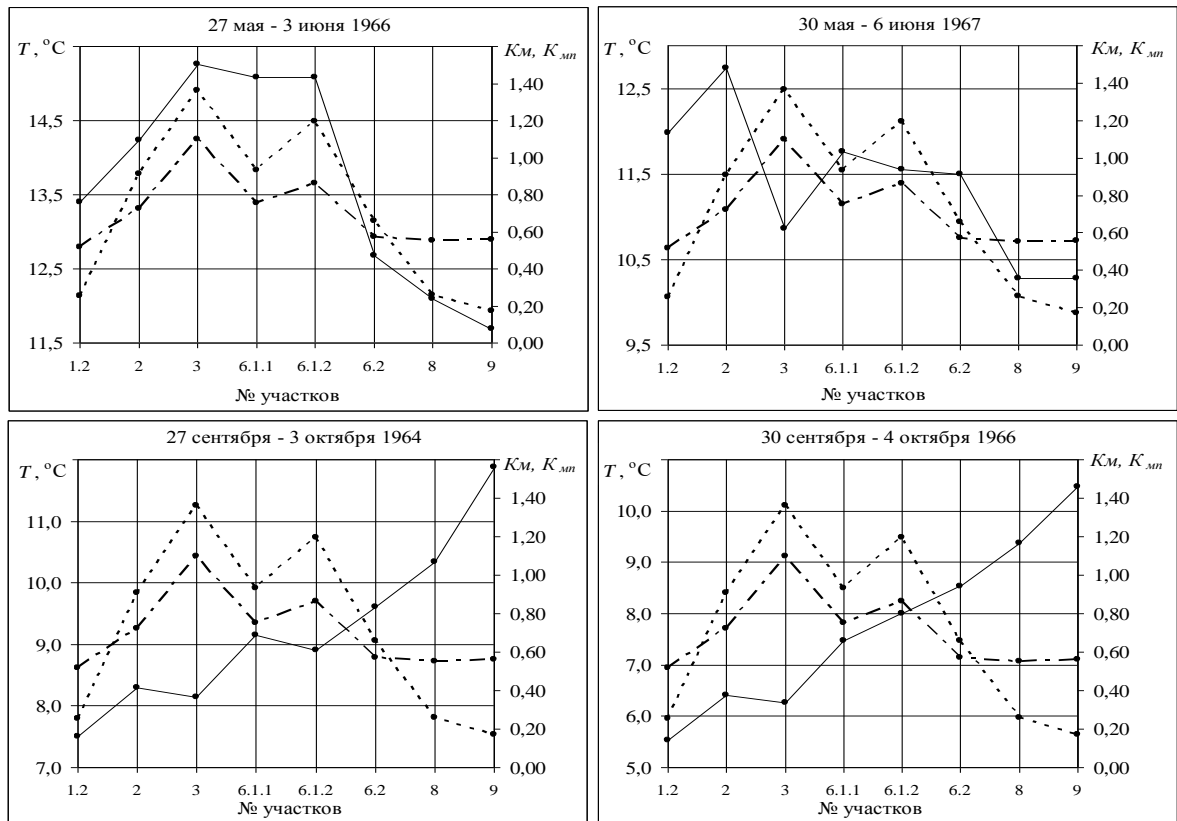


Рис. 2. Изменение температуры воды в весенний и осенний периоды, а также морфометрических коэффициентов  $K_M$  и  $K_{Mn}$  по длине Камского водохранилища:

- — температура воды;
- - -● — коэффициент морфометрического подобия  $K_{Mn}$ ;
- · - · — морфометрический коэффициент  $K_M$

На рис. 3, отражающем корреляционные зависимости, видно, что температура воды по длине Камского водохранилища определяется морфометрическими особенностями участков, которые учитываются в коэффициентах  $K_M$  и  $K_{Mn}$ . Коэффициенты корреляции ( $r$ ) для весны составляют 0,90 и 0,82 (рис. 3 а, б), а для осени – 0,50 и -0,40 (рис. 3 в, г) соответственно.

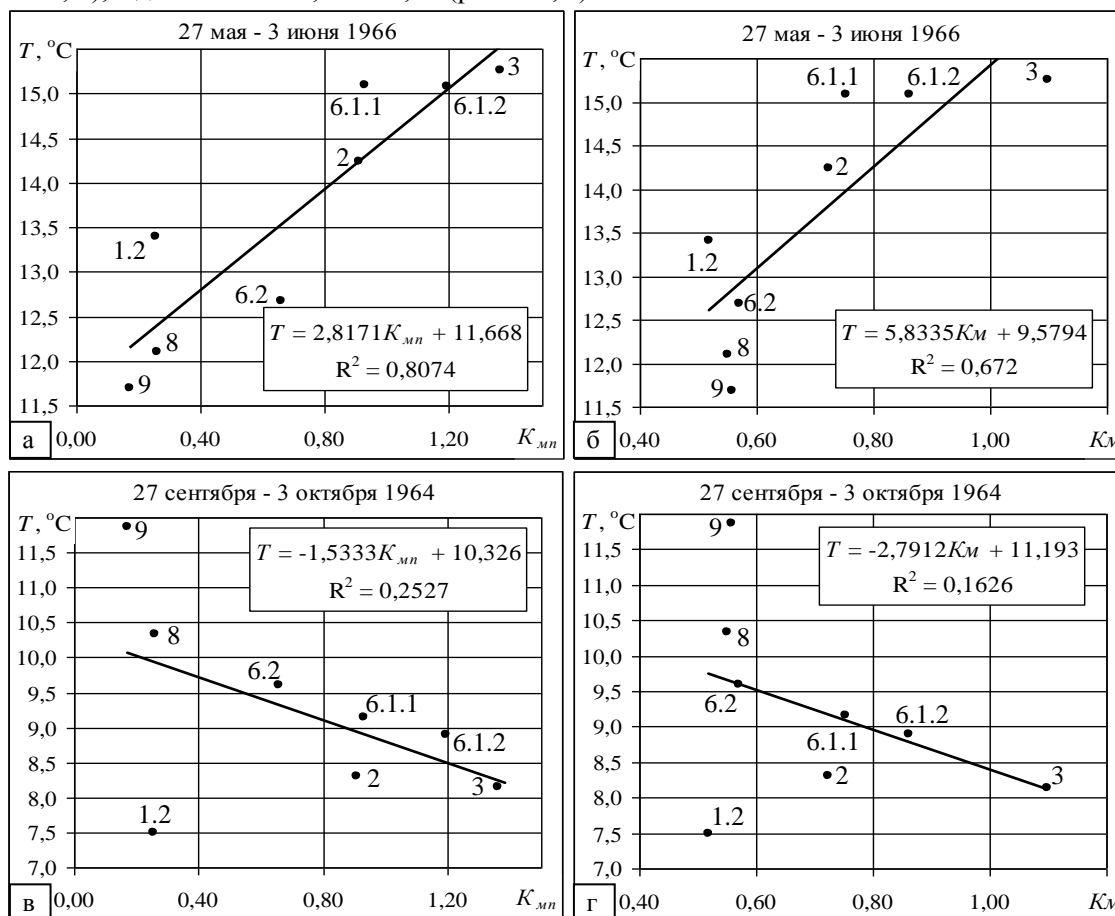


Рис. 3. Зависимость средней температуры воды на рейдовых вертикалях в пределах участков Камского водохранилища от морфометрических коэффициентов  $K_{Mn}$  и  $K_M$ : а, б – для весны; в, г – осени

Обращает на себя внимание резкое отклонение точки участка 1.2 (рис. 3 в, г). На наш взгляд, это

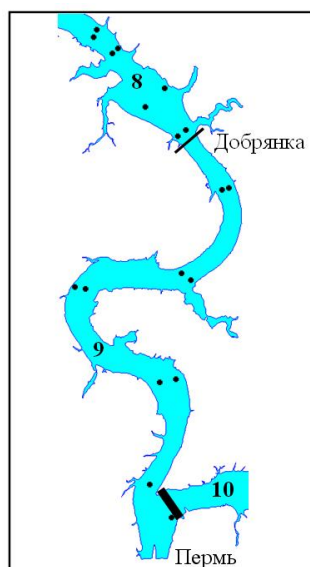


Рис. 4. Местоположение рейдовых вертикалей в III районе Камского водохранилища (1983–1985 гг.)

связано с тем, что участок 1.2 по соотношению площадей и глубин попадает в «категорию» узких, вытянутых и глубоководных, таких как 8 и 9 (рис. 1). В тоже время расположение этого участка в верхней части водохранилища приводит к тому, что здесь вследствие более высоких скоростей течения [9] и сравнительно небольшой средней глубины (5,9 м) наблюдается отсутствие различий в температуре воды по глубине в результате перемешивания [5]. Следует также отметить, что этот участок, как и весь первый район водохранилища, выхолаживается быстрее из-за поступления вод рек Камы и Вишеры с более

низкой температурой. При исключении значения участка 1.2 коэффициенты корреляции исследуемой зависимости увеличиваются до  $-0,90$  и  $-0,74$  соответственно.

Отсутствие подробных наблюдений в рассматриваемые годы в южной части Камского водохранилища (рис. 1) не позволяет провести анализ термического режима на 8-м и 9-м участках и выявить границы качественных различий между ними. В то же время в период с 1983 по 1998 г. Пермским ЦГМС проводились специализированные наблюдения за температурой воды, скоростью и направлением течения на рейдовых вертикалях (рис. 4) III-го (приплотинного) района в связи со строительством и вводом в эксплуатацию Пермской ГРЭС, расположенной на левом берегу Камского водохранилища в районе г. Добрянки. Поскольку первый энергоблок ГРЭС был введен в эксплуатацию лишь в 1986 г., для анализа пространственной неоднородности распределения температуры воды были использованы данные наблюдений за 1983–1985 гг. [8].

Рейдовые вертикали располагались равномерно по длине района по две (русловая и пойменная) на каждом разрезе (рис. 4), поэтому предварительно выполнено ее осреднение по глубине на вертикалях, а затем между вертикалями по разрезам.

Из рис. 5, где показано изменение температуры воды по длине приплотинного района, видны явные различия между 8-м и 9-м участками, что объясняется их морфометрическими особенностями, а именно соотношением площадей и глубин. У 8-го участка площадь больше, а средняя глубина меньше. Это приводит к понижению температуры воды из-за увеличения потерь тепла за счет турбулентного теплообмена, доля которого в тепловом балансе в осенний период становится определяющей.

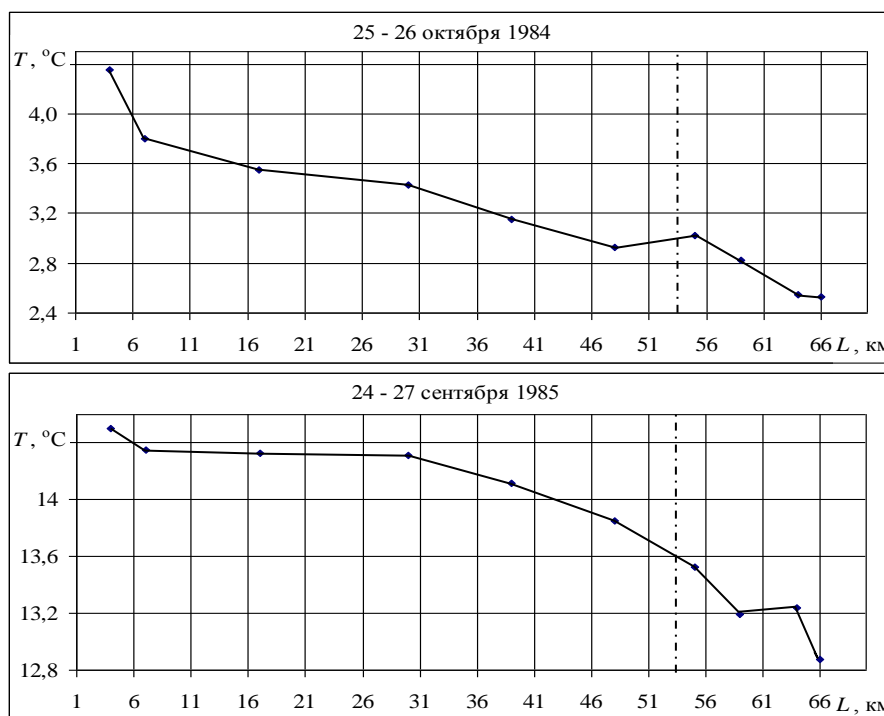


Рис. 5. Изменение температуры воды на рейдовых вертикалях в пределах III района Камского водохранилища (8 и 9 участки): - - - - - граница участков

Закономерности, выявленные на Камском водохранилище, подтверждаются и для условий Воткинского. Как видно из рис. 6, широкие и мелководные участки 4 и 5 быстрее прогреваются весной и раньше остывают осенью, а глубоководные приплотинные участки 6.1 и 6.2 – наоборот. В то же время на распределение температуры воды в верхней части Воткинского водохранилища помимо морфометрических особенностей сильное влияние оказывает и положение его в каскаде. Наличие постоянных сбросов Камской ГЭС и повышенная проточность участков 1 и 2 приводят к тому, что связь с морфометрией менее очевидна.

### Выводы

1. Пространственная неоднородность температуры воды по длине камских водохранилищ за разные годы практически полностью соответствует изменению морфометрических особенностей, которые учитываются коэффициентами  $K_m$  и  $K_{мп}$ .

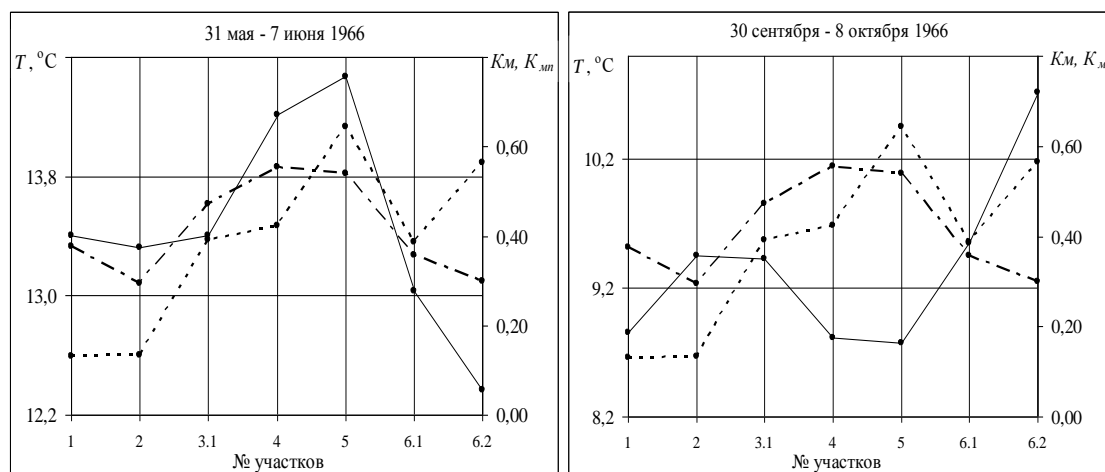


Рис. 6. Изменение температуры воды в весенний и осенний периоды, а также морфометрических коэффициентов  $K_m$  и  $K_{mt}$  по длине Воткинского водохранилища:

- — температура воды;
- - -●- - коэффициент морфометрического подобия  $K_{mt}$
- · - -●- — морфометрический коэффициент  $K_m$

2. Получены зависимости средней температуры воды в пределах участков водохранилищ от коэффициентов  $K_m$  и  $K_{mt}$ : для весны – прямая, для осени – обратная. Это связано с тем, что значения этих коэффициентов прямо пропорциональны площади участка и обратно пропорциональны средней глубине. Поэтому на мелководных и больших по площади участках температура воды в период весеннего нагревания выше, а осенью – ниже.

#### Библиографический список

1. Буторин Н.В. Гидрологические процессы и динамика водных масс в водохранилищах Волжского каскада. Л.: Наука, 1969. 320 с.
2. Готлиб Я.Л., Жидких В.М., Сокольников Н.М. Тепловой режим водохранилищ гидроэлектростанций. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 200 с.
3. Калинин В.Г., Трофимов Н.А. Влияние морфометрии водохранилищ на процессы теплообмена и ледообразования // Метеорология и гидрология. 1996. №8. С. 110–115.
4. Матарзин Ю.М., Мацкевич И.К. Вопросы морфометрии и районирования водохранилищ // Вопросы формирования водохранилищ и их морфометрия. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 1970. С. 27–45.
5. Материалы наблюдений на озерах и водохранилищах: дополнение к гидрологическому ежегоднику. Т. 4. Вып. 5–7 / Уральское УГМС. Свердловск, 1965, 1966, 1967, 1968.
6. Носков В.М. Формирование термического режима долинного водохранилища с учетом его морфологии и морфометрии: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Пермь, 1989. 16 с.
7. Перевощикова О.А., Калинин В.Г. К оценке пространственных неоднородностей рельефа дна долинных водохранилищ (на примере Камского) // Географический вестник. 2014. №3(30). С. 18–26.
8. Отчет по программе специализированных гидрометеорологических наблюдений на Камском водохранилище в зоне влияния сбросов Пермской ГРЭС / Перм. ЦГМС. Пермь, 1985. 112 с.; 1986. 118 с.; 1987. 92 с.; 1988. 113 с.; 1989. 97 с.
9. Технический отчет по течениям на Камском водохранилище (характеристика скоростного режима) / Перм. ЦГМС. Пермь, 1997. 118 с.

#### References

1. Butorin, N.V. (1969), *Gidrologicheskie protsessy i dinamika vodnykh mass v vodokhranilishchakh Volzhskogo kaskada* [Hydrological processes and dynamics of water masses in the Volga cascade reservoirs], Nauka, Saint Petersburg, Russia.
2. Gotlib, Ya.L., Zhidkikh, V.M. and Sokolnikov, N.M. (1976), *Teplovoy rezhim vodokhranilishch gidroelektrostantsiy* [Thermal regime of reservoirs of hydroelectric plants], Gidrometeoizdat, Saint Petersburg, Russia.

3. Kalinin, V.G., Trofimov, N.A. (1996), "Vliyanie morfometrii vodokhranilishch na protsessy teploobmena i ledoobrazovaniya" [Influence of reservoirs' morphometry on the processes of heat exchange and ice formation], *Meteorologiya i Gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], no. 8, pp. 110–115.

4. Matarzin, Yu.M., Matskevich, I.K. (1970), "Voprosy morfometrii i rayonirovaniya vodokhranilishch" [Issues of morphometry and zoning of reservoirs], *Voprosy formirovaniya vodokhranilishch i ikh morfometrii* [Issues of reservoirs' formation and their morphometry], Perm State University, Perm, pp. 27–45.

5. *Materialy nablyudeniy na ozerakh i vodokhranilishchakh (Dopolnenie k gidrologicheskomu ezhegodniku. T. 4. Vyp. 5–7)* [Materials of observations on lakes and reservoirs (Supplement to the Hydrological Yearbook, vol. 4, no. 5-7)], (1965, 1966, 1967, 1968), Sverdlovsk, Russia.

6. Noskov, V.M. (1989), Formation of thermal regime of valley reservoir based on its morphology and morphometry, Cand. sc. diss., Geography, Perm State University, Perm, Russia.

7. Perevoshchikova, O.A., Kalinin, V.G. (2014), "K otsenke prostranstvennykh neodnorodnostey rel'efa dna dolinnykh vodokhranilishch (na primere Kamskogo)" [To the estimation of the spatial heterogeneity of bottom relief of valley reservoirs (a case study of the Kamskoe reservoir)], *Geographicheskiy Vestnik* [Geophysical Bulletin], no. 3, pp. 18-26.

8. *Otchet po programme spetsializirovannykh gidrometeorologicheskikh nablyudeniy na Kamskom vodokhranilishche v zone vliyaniya sbrosov Permskoy GRES* [Report on the program of specialized hydro-meteorological observation on the Kamskoe Reservoir in the area of influence from water release of the Perm hydroelectric station], (1985, 1986, 1987, 1988, 1989), Perm, Russia.

9. *Tekhnicheskii otchet po techeniyam na Kamskom vodokhranilishche (kharakteristika skorostnogo rezhima)* [Technical Report on flows on the Kamskoe reservoir (features of the speed regime)], (1997), Perm, Russia.

Поступила в редакцию: 17.02.2016

#### Сведения об авторах

##### **Первошикова Ольга Анатольевна**

ассистент кафедры физической географии и ландшафтной экологии Пермского государственного национального исследовательского университета; Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: perevoshchikovao@mail.ru

##### **Калинин Виталий Германович**

доктор географических наук, профессор кафедры физической географии и ландшафтной экологии Пермского государственного национального исследовательского университета; Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: vgkalinin@gmail.com

#### About the authors

##### **Olga A. Perevoshchikova**

Postgraduate Student, Department of Physical Geography and Landscape Ecology, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia; e-mail: perevoshchikovao@mail.ru

##### **Vitaliy G. Kalinin**

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Department of Physical Geography and Landscape Ecology, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia; e-mail: vgkalinin@gmail.com

#### **Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

*Первошикова О.А., Калинин В.Г. Закономерности пространственного распределения температуры воды на камских водохранилищах в весенний и осенний периоды // Географический вестник = Geographical bulletin. 2016. №3(38). С. 71–78. doi 10.17072/2079-7877-2016-3-71-78*

#### **Please cite this article in English as:**

*Perevoshchikova O.A., Kalinin V.G. Patterns of water temperature spatial distribution in the Kama reservoirs in the spring and autumn periods // Geographical bulletin. 2016. № 3(38). P. 71–78. doi 10.17072/2079-7877-2016-3-71-78*