

ВНУТРЕННИЙ ВОДООБМЕН КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2014-2018 ГГ.

Китаев А.Б., Климова Е.А.

ФГБОУ ВО Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, E-mail: kitaevab1953@gmail.com

INTERNAL WATER EXCHANGE OF THE KAMA RESERVOIR IN 2014-2018

Kitaev A.B., Klimova E.A.

Perm State University, Perm

Аннотация. Дано представление о внешнем и внутреннем обмене вод водоемах. Представлены наиболее простые способы оценки обмена вод в различных частях естественных и искусственных водных объектах. Дана оценка обмена вод в морфометрических участках Камского водохранилища за пятилетний период настоящего столетия (2014-2018 гг.). Показано изменение коэффициента внутреннего водообмена предложенного В.А.Знаменским как в пространстве (по длине водоема), так и внутри каждого рассматриваемого года. В зависимости от морфометрических особенностей водоема и уклона дна и водной поверхности пролеживается тенденция постепенного снижения водообмена от района выклинивания подпора (верхняя часть водоема) к плотине Камской ГЭС. При этой общей тенденции наблюдается некоторое снижение обмена вод в центральной части водохранилища. Максимального значения показатели водообмена достигали в фазу весеннего наполнения водоема, минимальные величины обмена вод наблюдались в период зимней сработки водохранилища. Полученные результаты могут рассматриваться как основа для дальнейшего изучения процессов смешения водных масс водоема а, также и интенсивности разбавления промышленных сточных вод, поступающих в различные части исследуемого водного объекта. После выполнения этих исследований можно будет дать рекомендации по снижению загрязнения водоема.

Ключевые слова: водохранилище, морфометрия, внешний и внутренний водообмен, зимняя сработка, весеннее наполнение.

Annotation. The idea of the external and internal exchange of water reservoirs is given. The simplest ways to assess the exchange of water in various parts of natural and artificial water bodies are presented. Assessment of water exchange in the morphometric areas of the Kama reservoir for the five-year period of the present century (2014-2018) is given. The change in the coefficient of internal water transfer proposed by V.A. Zamensky both in space (along the length of the reservoir) and within each of the year under consideration is shown. Depending on the morphometric characteristics of the reservoir and the slope of the bottom and the water surface, a trend of gradual decrease in water exchange from the area of the abolition of the backwater (the upper part of the reservoir) to the dam of the Kama hydroelectric power station is laid. With this general trend, there is a slight decrease in the exchange of water in the central part of the reservoir. The maximum value of water transfer reached the spring filling of the reservoir in the phase of the spring filling, the minimum values of the metabolism of water were observed during the winter work of the reservoir. The results can be considered as the basis for further studying the processes of mixing water masses of the reservoir A, as well as the intensity of the dilution of industrial wastewater entering various parts of the studied water body. After these studies, it will be possible to give recommendations for reducing the pollution of the reservoir.

Key words: reservoir, morphometry, external and internal water exchange, winter workpiece, spring filling.

Водообмен является одним из ключевых показателей гидрологического режима водных объектов. Его учет особенно важен при изучении водного режима искусственных водоемов – водохранилищ.

Как указывал Эдельштейн К.К. [13] водообмен – это сочетание многообразных динамических процессов, которые протекают в искусственных водоемах одновременно под действием на воду различных внешних сил, ее вязкости и инерции.

Эти процессы, в свою очередь, оказывают значительное влияние на переформирование ложа водохранилища и его берегов путем изменения морфометрических характеристик водоема.

Актуальность оценки обмена вод в различных морфометрических участках водохранилищ определяется созданием основы для последующих исследований процессов смешения различных водных масс и прежде всего, процессов разбавления промышленных сточных вод, поступающих в различные части водоема. В связи с этим возникает необходимость создания достаточно простых и не требующих наличия большого объема исходной информации методов оценки водообмена в водохранилищах и других водных объектах. Применению одного из таких методов и посвящена настоящая работа.

Оценка интенсивности обмена вод (как внутреннего, так и внешнего) проводилась многими исследователями и особенно обстоятельно в 70-е и 80-е гг. прошлого столетия. В эти годы были разработаны и основные подходы к оценке водообмена. В настоящее время интерес к исследованию этого процесса развивается. Это, прежде всего, работы Лозовик П.А., Зобкова М.Б., Бородулиной Г.С., Токарева И.В. [5], Михайлова М.В., Исуповой М.В. [6], Самодурова А.С., Чухарева А.М., Казакова Д.А. [11], Симонова В.Г., Морозова В.И., Фоминой И.Н., Мартынова Е.С. [12], Особенно активно этот процесс рассматривается Обуховым Е.В. на водохранилищах Днепра [7,8,9,10]. Применительно к Камскому водохранилищу автором настоящего исследования также опубликована целая серия работ [3,4 и др.]. Однако эти работы дают представление об обмене вод в исследуемом водоеме во второй половине прошлого столетия.

Существует несколько известных методов, которые дают представление об интенсивности процессов внутреннего водообмена в водохранилищах. Они связаны с перемешиванием водных масс в водоёме или его части, и отражаются через значения коэффициентов горизонтального и вертикального турбулентного обмена. Это такие методы как:

– метод В.А. Знаменского [2], согласно которому интенсивность внутреннего водообмена оценивается по изменению объемов отдельных частей водохранилищ;

– метод Т.П. Девятковой-А.Б. Китаева [1], который предполагает оценку внутреннего водообмена по отдельным морфометрическим участкам искусственного водоема согласно интенсивности их наполнения и сработки.

В настоящем исследовании рассматривается применимость первого метода для Камского водохранилища в современных условиях (с 2014 по 2018 гг.). Выбор настоящего метода определяется его простотой (не требует большого объема информации) и в тоже время он отражает суть происходящего процесса обмена вод.

Оценка внутреннего водообмена по методике В.А. Знаменского предполагает использование показателя, определяющего относительное изменение объема как всего водохранилища или его отдельных частей:

$$D_{\Delta W} = \frac{\Delta W}{V_{\text{с}}},$$

$$\Delta W = V_{\text{к}} - V_{\text{н}},$$

где ΔW – изменение объема воды в водоеме за расчетный интервал времени (месяц), $V_{\text{к}}$ – объем воды в участке на конец месяца, $V_{\text{н}}$ – объем воды в участке на начало месяца, $V_{\text{с}}$ – средний объем воды в участке за тот же интервал времени.

Необходимыми исходными данными для расчета внутреннего водообмена являются значения объемов воды для каждого морфометрического участка Камского водохранилища. Их можно получить расчетным путем через характеристику уровня режима. Для этого использовались таблицы ежедневных уровней воды по 6 гидрологическим постам (г/п) с 2014 по 2018 гг. (г/п вдхр. Камское-Тюлькино; вдхр. Камское-Березники; вдхр. Камское-Усть-Пожва; вдхр. Камское-Висим; вдхр. Камское-Добрянка; вдхр. Камское-КамГЭС). По таблицам координат кривых площадей и объемов водохранилища, помещенных в Ресурсах..., определены объемы воды расчетных морфометрических участках.

Построены графики изменения внутреннего водообмена Камского водохранилища за 2014–2018 гг. (рис. 1–5).

Анализ рис. 1 показал, что 2014 г. характеризуется продолжительным периодом весеннего половодья, которое связано неустойчивой динамикой температуры воздуха и возвратами холодов. Продолжительность половодья составила порядка 3 месяцев. Этот период предварялся зимней сработкой водоема, когда значения коэффициентов внутреннего водообмена были отрицательны, и изменялись в пределах от -0,04 до -0,97. Самая интенсивная сработка приурочена к центральной части Камского водохранилища от п. Усть-Пожвы до г.Чермоз. В фазу весеннего наполнения коэффициенты достигали максимальных положительных значений. Например, в апреле они изменялись от 0,09 на участке Добрянка-Камская ГЭС до 1,80 на участке Тюлькино-Березники. В фазу летне-осенней стабилизации

уровня водохранилища коэффициенты принимали как положительные, так и отрицательные значения. Отрицательных коэффициентов – преимущественное большинство. Положительный коэффициент 0,11 был в сентябре на участке Тюлькино - Березники, что связано с прохождением дождевого паводка.

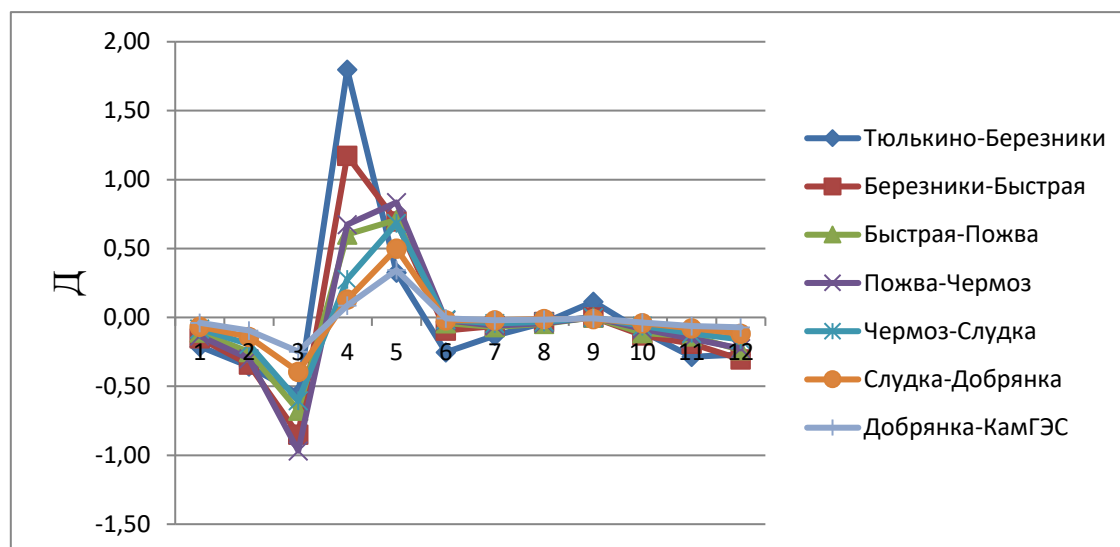


Рис. 1. – Внутригодовой ход коэффициента внутреннего водообмена на Камском водохранилище за 2014 г.

В 2015 г. также наблюдалось продолжительное половодье (рис. 2). В период зимней сработки значения коэффициентов отрицательны и изменялись от -0,07 до -0,55 в центральной части Камского водохранилища от п. Усть-Пожвы до г. Чермоз. В фазу весеннего наполнения коэффициенты принимали положительные значения и достигали максимума. Так, например, в апреле они изменялись от 0,10 на участке Добрянка-КамГЭС до 1,44 на участке Тюлькино-Березники. В фазу летне-осенней стабилизации уровня коэффициенты преимущественно отрицательные, за исключением октября, где составляли порядка 0,07.

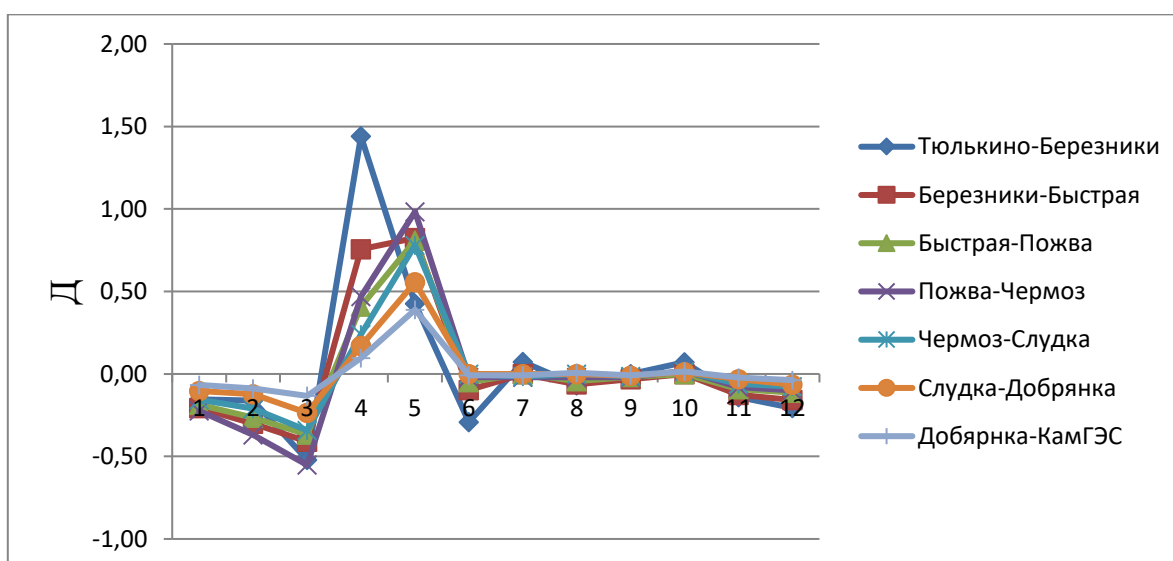


Рис. 2. – Внутригодовой ход коэффициента внутреннего водообмена на Камском водохранилище за 2015 г.

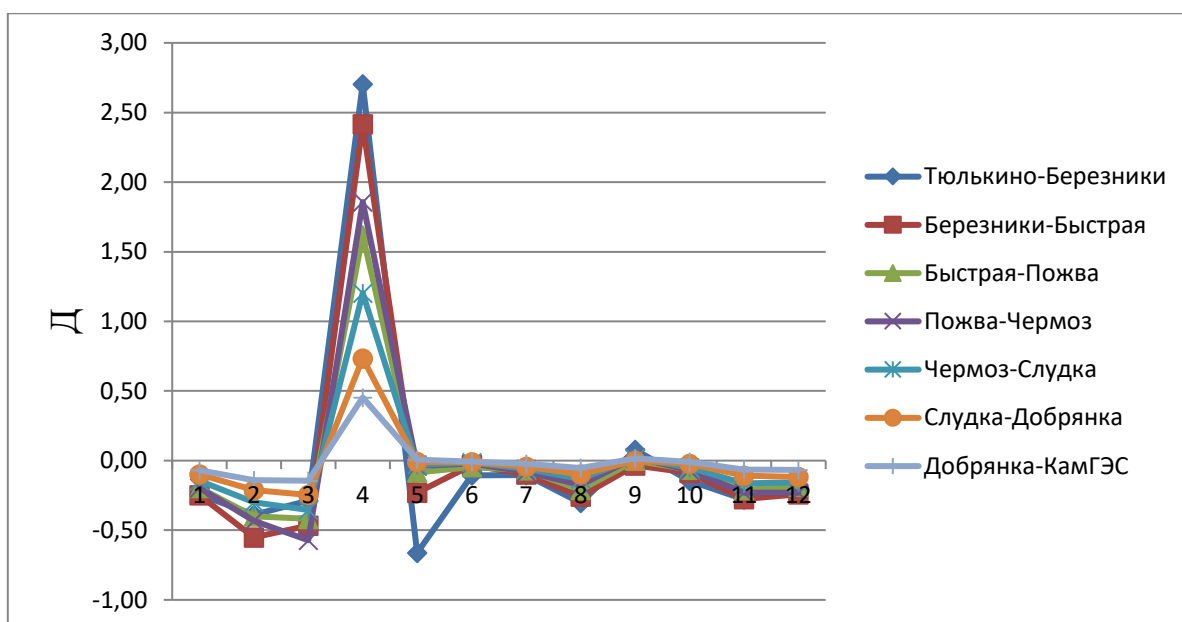


Рис. 3. – Внутригодовой ход коэффициента внутреннего водообмена на Камском водохранилище за 2015 г.

В 2016 г. наблюдалось сравнительно непродолжительное половодье (рис. 3). В период зимней сработки значения коэффициентов отрицательны и изменялись от -0,07 до -0,50 в верхней части водохранилища от г. Березники до д. Быстрая. В фазу весеннего наполнения коэффициенты положительны, а их максимальные значения совпадали с пиком половодья на реках водосбора Камского водохранилища. Например, в апреле они изменялись от 0,45 на участке Добрянка-КамГЭС и до 2,70 на участке Тюлькино-Березники. В фазу летне-осенней стабилизации уровня водоема коэффициенты принимали положительные значения в сентябре, что связано с дождевыми паводками, и отрицательные – в остальные месяцы. Наименьшие значения отмечались в ноябре.

В 2017 г. снова отмечался продолжительный период половодья (рис. 4). В период зимней сработки значения коэффициентов отрицательны и изменялись от -0,06 до -0,69 на участке Тюлькино - Березники. Наименьшие значения коэффициентов отметились в марте. В фазу весеннего наполнения водохранилища коэффициенты принимали положительные значения. Например, в апреле они изменялись от 0,05 на участке Добрянка-КамГЭС и до 1,56 на участке Тюлькино-Березники. В фазу летне-осенней стабилизации уровня воды в водоеме коэффициенты принимали положительные значения в октябре, а в остальной период – отрицательные. Отрицательных коэффициентов – преимущественное большинство.

В 2018 г. было сравнительно короткое половодье, в основном проходившее в мае (рис. 5). В период зимней сработки значения коэффициентов отрицательны и изменялись от -0,07 до -0,71 в центральной части Камского водохранилища от п. Усть-Пожвы до г. Чермоз. В фазу весеннего наполнения водохранилища коэффициенты достигали максимальных положительных значений. Например, в мае они изменялись от 0,53 на участке Добрянка-

КамГЭС и до 1,69 на участке Тюлькино-Березники. В фазу летне-осенней стабилизации уровня водохранилища коэффициенты принимали положительные значения в октябре, когда наблюдалось значительное возрастание величин объёмов вод, и отрицательные в остальные месяцы. Отрицательных коэффициентов – преимущественное большинство.

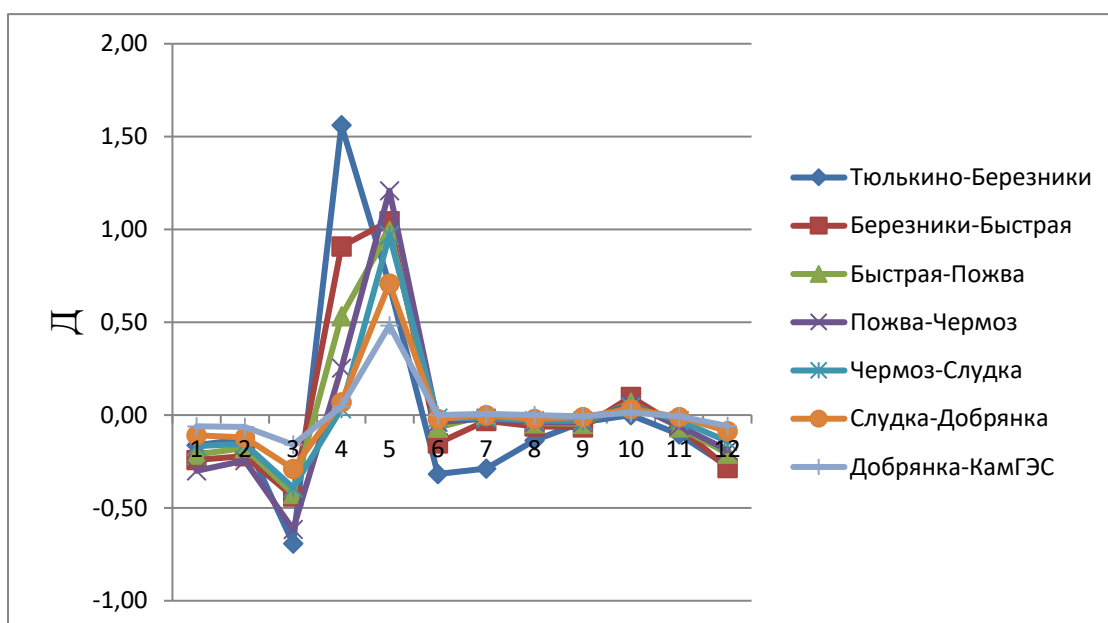


Рис. 4. – Внутригодовой ход коэффициента внутреннего водообмена на Камском водохранилище за 2017 г.

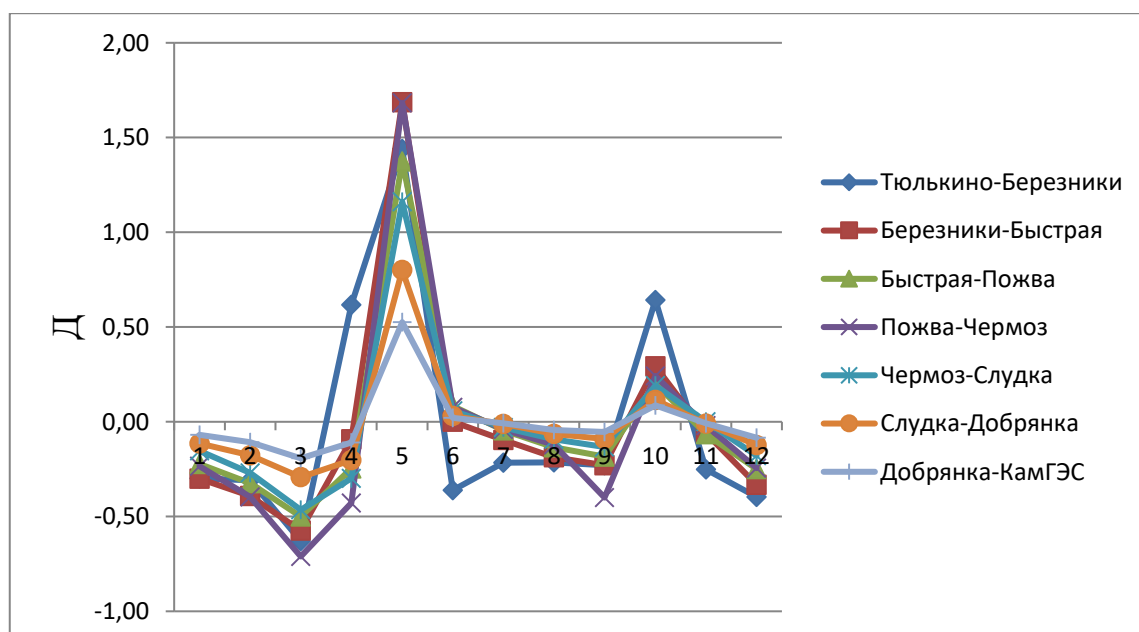


Рис. 5. – Внутригодовой ход коэффициента внутреннего водообмена на Камском водохранилище за 2018 г.

Исследования показали, что в 2014–2018 гг. минимальные значения коэффициента внутреннего водообмена Камского водохранилища приходятся на фазу зимней сработки. В то же время, максимальные значения приходятся на период наполнения водоема. Фаза летне-

осенней стабилизации уровня воды характеризуется как положительными, так и отрицательными значениями внутреннего водообмена, что свидетельствует о меньшей интенсивности обмена вод в этот период.

Можно выделить несколько тенденций, которые отражают изменение внутреннего водообмена по длине Камского водохранилища:

1. В зависимости от морфометрических особенностей водоема и уклона дна и водной поверхности прослеживается тенденция постепенного снижения водообмена от района выклинивания подпора (верхняя часть водоема) к плотине Камской ГЭС.

2. При этой общей тенденции наблюдается некоторое увеличение обмена вод в центральной части водохранилища, что связано с поступлением вод рр. Иньвы и Косьвы, что ведет к усилению водообмена.

Во временном аспекте вывод следующий:

Максимального значения показатели водообмена достигали в фазу весеннего наполнения водоема, минимальные величины обмена вод наблюдались в период зимней сработки водохранилища.

Полученные результаты могут рассматриваться как основа для дальнейшего изучения процессов смешения водных масс водоема а, также и интенсивности разбавления промышленных сточных вод, поступающих в различные части исследуемого водного объекта. После выполнения этих исследований можно будет дать рекомендации по снижению загрязнения водоема.

Литература

1. *Девяткова Т.П., Китаев А.Б.* Интенсивность изменения водных масс Камского и Воткинского водохранилищ при их наполнении и сработке // Комплексные экологические исследования водоемов и водотоков бассейна реки Камы. Пермь, 1993. С 6-11.
2. *Знаменский В.А.* Гидрологические процессы и их роль в формировании качества воды. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 247 с.
3. *Китаев А.Б.* Внутренний водообмен водохранилищ Камского каскада (по модели В.А.Знаменского) // Географический вестник. Пермь, 2009. №1(9). С.20-37.
4. *Китаев А.Б.* Внутренний водообмен // Гидрологический режим Камского водохранилища (по материалам XX и начала XXI столетия). Пермь, 2020. С.187-223.
5. *Лозовик П.А., Зобков М.Б., Бородулина Г.С., Токарев И.В.* Оценка внешнего водообмена заливов озер по химическим показателям // Водные ресурсы, 2019. Т. 46, № 1. С. 91–101.
6. *Михайлова М.В., Исупова М.В.* Внутренний и внешний водообмен в неприливных дельтах. Водные ресурсы, 2019. Т. 46, № 6. С. 575–581.

7. *Обухов Е.В.* Оценка интенсивности внешнего водообмена в Кременчугском и Каховском водохранилищах // Украинский гидрометеорологический журнал. Одесса, 2014. №15. С. 134-140.
8. *Обухов Е.В.* Внешний водообмен украинских водохранилищ. Одесса: МАНЭБ, 2016. 48 с.
9. *Обухов Е.В.* Сравнительные показатели внешнего водообмена в водохранилищах Днепровского каскада в условиях изменения климата // Географический вестник. Пермь, 2016. №2(37). С.61-69.
10. *Обухов Е.В.* Исследование влияния водности на внешний водообмен Днепродзержинского водохранилища в условиях изменения климата // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2017. № 60(4). С.380-388.
11. *Самодуров А.С., Чухарев А.М., Казаков Д.А.* Основные закономерности вертикального турбулентного обмена в квазиоднородных и стратифицированных слоях Черного моря // Морской гидрофизический журнал, 2021. Т.37. № 4. С.405-422.
12. *Симонов В.Г., Морозов В.И., Фомина И.Н., Мартынов Е.С.* Водообмен Таганрогского залива с Азовским морем // Морской гидрофизический журнал, 2013. № 4. С. 73-82.
13. *Эдельштейн К.К.* Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277с.