

ПОКАЗАТЕЛИ ВНЕШНЕГО ВОДООБМЕНА ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ

А.В. КИТАЕВ

PARAMETERS OF EXTERNAL WATER EXCHANGE OF ARTIFICIAL RESERVOIRS

Пермский государственный университет, 614990. Пермь, ул. Букирева, 15, e-mail: hydrology@psu.ru

Рассмотрены существующие подходы к оценке внешнего водообмена искусственных водоемов. На примере Камского и Воткинского водохранилищ показаны их положительные моменты, применимость к характеристике обмена вод.

К л ю ч е в ы е с л о в а: водохранилище; регулирование стока; обмен вод.

К e y w o r d s: water reservoir; the drainage regulation; water exchange.

Обмен вод как в естественных, так и в искусственных водоемах представляет собой сочетание многообразных динамических процессов, одновременно протекающих в водных объектах под действием на воду различных внешних сил. Внешний водообмен определяется соотношением компонентов водного баланса, и под ним понимается замена вод, находящихся в водоеме, новыми водами, поступающими извне.

Результаты исследований водообмена различных водоемов страны показали, что интенсивность обмена вод зависит от водности года, а в пределах года его изменения имеют сезонный характер, определяющийся влиянием различных компонентов водного баланса. Показатели водообмена меняются также в зависимости от объема водоема или его отдельных частей, поэтому их изменения от участка к участку происходят в соответствии с морфометрическими особенностями водоема.

Внешний водообмен осуществляется в основном путем притока воды с водосбора и стока из водоема. В обмен вод в разной степени включаются воды зон и участков. Так, например, воды участков водохранилищ, через которые проходят транзитные течения, будут обмениваться быстрее, чем воды застойных зон и заливов. При оценке обмена вод необходимо учитывать, что фактические объемы водохранилищ могут в отдельные фазы режима значительно отличаться от их объемов при НПГ, приводимых в различных справочниках. Поэтому при расчетах водообмена за каждый конкретный месяц следует определять объемы водоемов или их частей по фактическим данным уровней воды.

В настоящее время существует целый ряд показателей, оценивающих интенсивность внешнего водообмена в искусственных водоемах [1–15]. При этом используются две модели расчета: водоема-вытеснителя и водоема смесителя. В настоящей работе акцент сделан на первой из них.

Из показателей внешнего водообмена по модели водоема-вытеснителя наиболее часто используются при решении различных практических задач следующие 3 варианта.

Первый показатель, оценивающий интенсивность внешнего водообмена в водохранилищах, был предложен в 1958 г. Л.И.Дубровиным и назван им коэффициентом проточности [5]. Он показывал, сколько раз или какая часть водной массы обменивается за определенный промежуток времени, т.е.

$$D = \frac{W_{\text{ст.ГЭС}}}{V}, \quad (1)$$

где $W_{\text{ст.ГЭС}}$ – объем сброса воды в нижний бьеф, V – объем водохранилища.

В 1959 г. С.В.Григорьевым [4] был предложен показатель условного водообмена сточных водоемов, равный отношению объема притока в водоем за некоторый промежуток времени ($W_{\text{пр}}$) к среднему для этого промежутка времени объему воды водоема (W):

$$D = \frac{W_{\text{пр}}}{V} \quad (2)$$

В 1975 г. В.Н.Штефан [14] предложил средний коэффициент водообмена водохранилища, учитывающий как объем притока вод в водоем, так и сток из него:

$$D = \frac{W_{\text{пр}} + W_{\text{ст}}}{2V}, \quad (3)$$

где $W_{\text{ст}}$ – объем сброса вод из водоема (т.е. $W_{\text{ст}}=W_{\text{ст.гэс}}$).

Если сравнить представленные три показателя обмена вод, то можно отметить, что каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Так, если рассматривать водохранилище как искусственный водоем, созданный с целью регулирования стока, то показатель, предложенный Л.И.Дубровиным и имеющий в числителе величину объема сброса вод через гидроузел, несомненно, более четко отражает указанную характеристику искусственного водоема. Если же рассматривать водохранилище как природно-техногенную систему, то показатель С.В.Григорьева отражает первую часть этой системы. При этом следует учитывать, что природная часть системы наиболее ярко выражена для верхних водохранилищ (например, Камского по отношению к Воткинскому). Для искусственных водоемов, находящихся в каскадном положении, данный показатель отражает обе стороны системы (боковая приточность – естественная часть, а сброс вод из вышерасположенного водоема – техногенная часть, отражающая характер регулирования стока). Несомненно, представленные показатели внешнего водообмена будут отличаться друг от друга по величине в различные фазы водного режима, что будет показано ниже.

Присутствие отличий в величинах показателей Л.И.Дубровина и С.В.Григорьева можно рассматривать как их некоторый недостаток, поскольку возникает двойственность в оценке обмена вод. Показатель В.Н.Штефана устраняет эту двойственность. Это, несомненно, его достоинство. Однако следует отметить, что он получен чисто механическим путем, т. е. простым сложением двух ранее предложенных показателей. Данный показатель нашел широкое применение в исследованиях, проводимых сотрудниками кафедры гидрологии суши Московского госуниверситета, Института биологии внутренних вод РАН и других организаций. Не умаляя значения мнения исследователей, использующих показатель В.Н.Штефана, считаем что он представляет собой нечто среднее между показателями Л.И.Дубровина и С.В.Григорьева и не отражает физическую суть процессов, происходящих в водохранилищах. На наш взгляд, при оценке внешнего водообмена искусственных водоемов или их частей следует использовать первые два показателя, которые отражают обе стороны природно-техногенной системы, каковой являются водохранилища. Различия в величинах внешнего водообмена по указанным двум показателям будет свидетельствовать прежде всего не о двойственности полученных результатов, а о различном влиянии конкретных составляющих водного баланса на характер обмена вод в различные фазы водного режима водоема.

Расчет и анализ величин показателей внешнего водообмена Камского и Воткинского водохранилищ по всем трем рассматриваемым вариантам выполнен со времени образования водоемов (1959 и 1964 гг.) и до 1987 г. Для решения задачи сравнения внутригодового хода внешнего водообмена водохранилищ Камского каскада данная продолжительность вполне достаточна, поскольку охватывает весь диапазон изменения водности лет.

Анализ внутригодового хода показателей внешнего водообмена за многолетний период показал, что рассматриваемые варианты расчета характеризуются наличием 3 характерных периодов, которые полностью совпадают с основными фазами водного режима любого искусственного водоема, а именно:

- фаза зимней сработки,
- фаза весеннего наполнения,
- фаза летне-осенней стабилизации уровня воды.

В пределах последней фазы в отдельные годы четко прослеживается период прохождения осенних дождевых паводков.

Камское водохранилище

В фазу зимней сработки водоема величины показателя Л.И.Дубровина превышают аналогичные значения по коэффициенту С.В.Григорьева, что вполне понятно, так как в этот период сброс воды через Камскую ГЭС выше притока по р. Каме и боковым притокам в водохранилище (рис.1).

В период весеннего наполнения водоема наблюдается обратная картина – величины внешнего водообмена по показателю С.В.Григорьева становятся заметно выше, чем по показателю Л.И.Дубровина. Эта фаза водного режима водохранилища характеризуется превышением притока вод в водоем (по основной реке и боковым притокам) над сбросом вод через плотину ГЭС. Изменение внешнего водообмена в весенний период, как и в фазу зимней сработки водоема, по сравнимым показателям происходит в полном соответствии с характером изменения основных составляющих водного баланса.

Фаза летне-осенней стабилизации уровня воды в исследуемом водоеме характеризуется своеобразным соотношением показателей внешнего водообмена по рассматриваемым вариантам. В течение многолетнего периода чаще всего отмечалось превышение величины обмена вод по показателю Л.И.Дубровина – в 19 годах из 28, в 4 случаях значения показателя С.В.Григорьева были выше, в остальные же годы наблюдалось примерное равенство показателей. Амплитуда изменений показателей водообмена в летне-осенний период заметно меньше, чем в фазу зимней сработки водоема или его наполнения весной. Во время ярко выраженных дождевых паводков внешний водообмен по показателю С.В.Григорьева выше, чем по показателю Л.И.Дубровина, поскольку в этот период отмечается большой приток вод с водосбора водохранилища. Такая картина наблюдалась в 1961, 1963, 1971, 1973 и 1983 гг.

Внешний водообмен по показателю В.Н.Штефана во все фазы водного режима водоема занимал некое среднее положение между величинами обмена вод по двум другим показателям.

Воткинское водохранилище

В фазу зимней сработки водоема величина внешнего водообмена, определенная по показателю Л.И.Дубровина, больше аналогичных значений по коэффициенту С.В.Григорьева, т. е. характер соотношения между рассматриваемыми вариантами аналогичен Камскому водохранилищу (рис.2). Однако в различные по водности годы эти отличия в величинах обмена вод могут быть как большими, так и малыми. На Камском же водохранилище эти различия всегда довольно значительны.

Во время весеннего наполнения водохранилища величины обмена вод по показателю С.В.Григорьева, как и на Камском водохранилище, больше чем по показателю Л.И.Дубровина. Однако, как и в зимний период, отмеченные различия здесь меньше, чем на Камском водохранилище, что объясняется малой боковой приточностью в водоем и каскадным положением водохранилища.

В период летне-осенней стабилизации уровня воды в водоеме величины внешнего водообмена по обоим показателям примерно равны, хотя в 8 годах они выше по показателю Л.И.Дубровина, в 7 годах – по показателю С.В.Григорьева, в остальные годы они практически совпадают. Таким образом, в данную фазу водного режима водоема не отмечается тенденция некоторого превышения величин водообмена по показателю Л.И.Дубровина, что характерно для Камского водохранилища. Во время дождевых паводков наблюдается больший обмен вод по показателю С.В.Григорьева. Такая картина была отмечена в 1968, 1970, 1973, 1983 и 1984 гг. Однако в отличие от Камского водохранилища эти превышения не столь велики, поскольку приток вод с водосбора здесь заметно меньше (5 – 7 % от приходной части водного баланса).

Величины обмена вод по показателю В.Н.Штефана, как и на Камском водохранилище, занимают среднее положение между двумя другими вариантами оценки.

Выводы

- 1) Показатель внешнего водообмена, предложенный Л.И.Дубровиным, отражает характер регулирования стока водохранилищами.
- 2) Показатель обмена вод, представленный С.В.Григорьевым, отражает естественную составляющую природно-техногенной системы, каковой является водохранилище. Это наиболее ярко выражено для самых верхних в каскаде водоемов. Относительно водохранилищ, находящихся в каскадном положении, данный показатель отражает обе стороны природно-техногенной системы.
- 3) Исследования на Камском и Воткинском водохранилищах за многолетний период

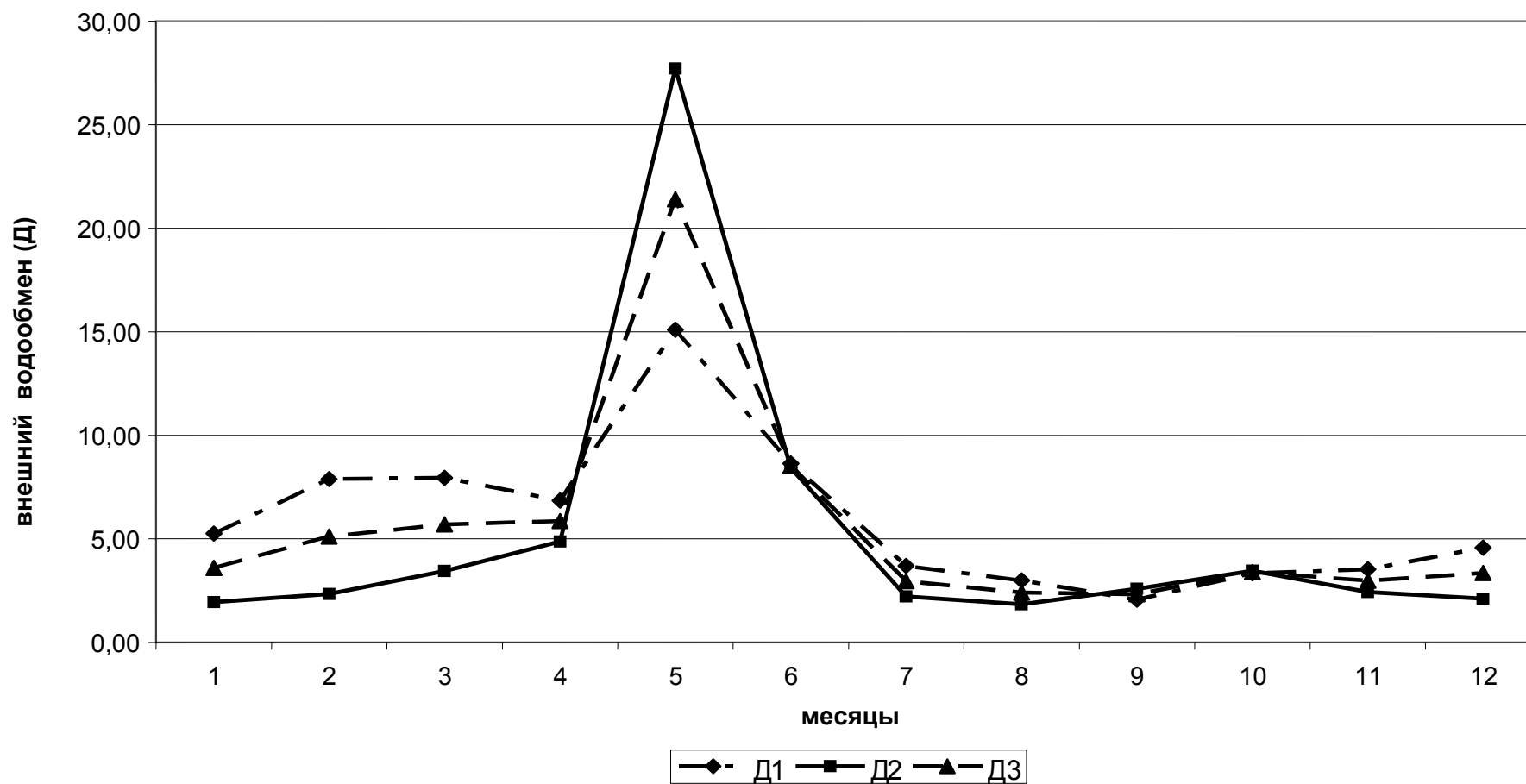


Рис. 1. Внутригодовой ход коэффициентов внешнего водообмена Камского водохранилища за год, близкий к среднему по водности (1966) (Д1 – по формуле Л.И.Дубровина, Д2 – по формуле С.В. Григорьева, Д3 – по формуле В.Н.Штефана)

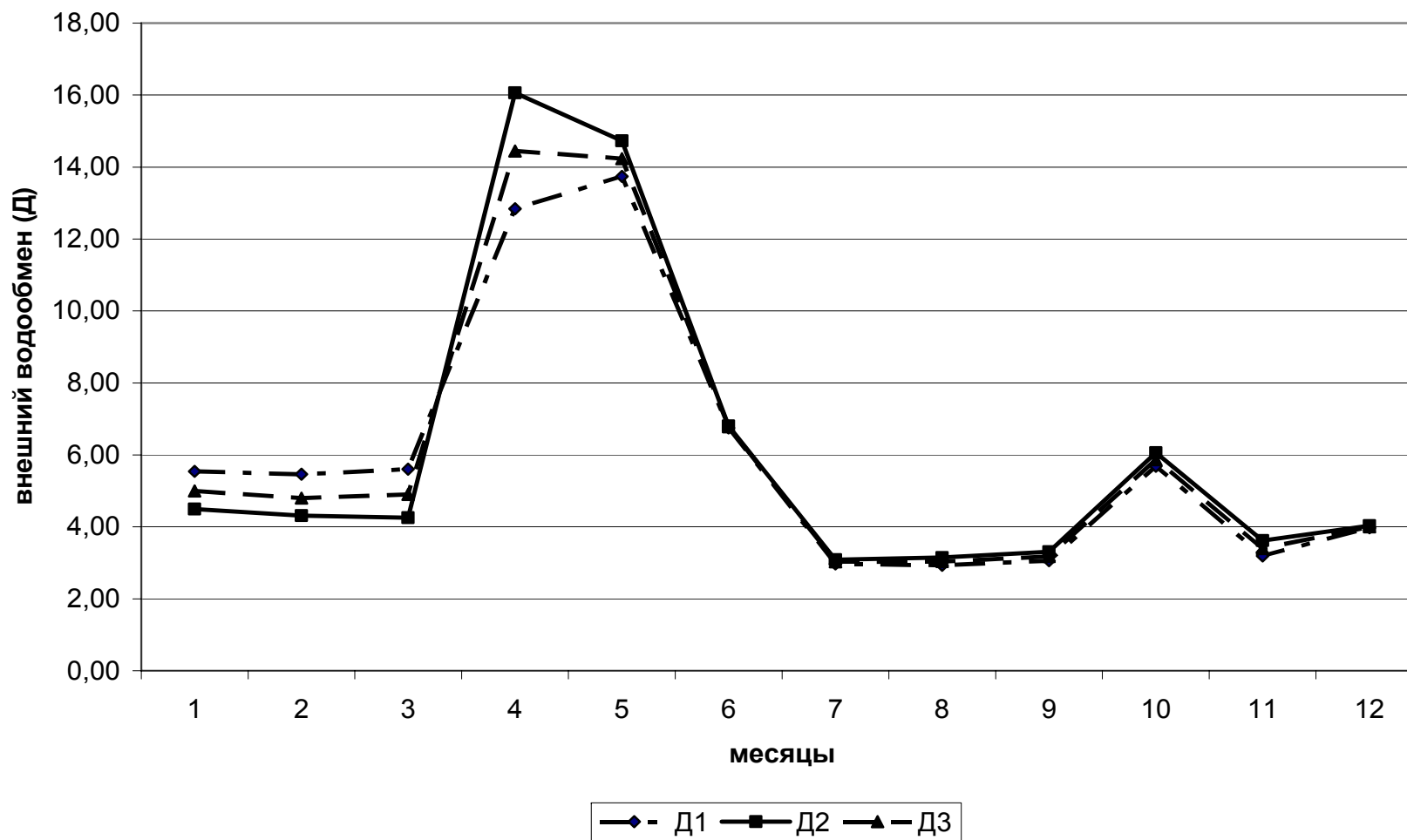


Рис.2. Внутригодовой ход коэффициентов внешнего водообмена Воткинского водохранилища за год, близкий к среднему по водности (1966) (Д1 – по формуле Л.И.Дубровина, Д2 – по формуле С.В. Григорьева, Д3 – по формуле В.Н.Штефана)

подтвердили правильность первых двух положений. А именно:

- в фазу зимней сработки водоемов отмечается превышение величин внешнего водообмена, определенных по показателю Л.И.Дубровина, поскольку сброс вод из водоемов выше притока в них;
- в период весеннего наполнения водохранилищ величины внешнего водообмена по С.В.Григорьеву выше, так как приток вод в водоемы заметно больше сброса вод через гидроузлы;
- в период летне-осенней стабилизации уровня воды в водоемах отмечено некоторое превышение величин обмена вод по показателю Л.И.Дубровина на Камском водохранилище и примерное равенство водообмена по обоим вариантам оценки – на Воткинском;
- во время ярко выраженных осенних дождевых паводков обмен вод по показателю С.В.Григорьева выше, так как идет интенсивный приток вод с водосбора.

Библиографический список

1. Бакулин К.А. Морфометрические характеристики Рыбинского водохранилища // Труды ИБВВ АН СССР. 1968. Вып.16(19). С. 72–86.
2. Браславский А.П. Расчет минерализации воды в водохранилищах // Гидрохимические материалы. 1961. Т.32. С. 72–96.
3. Буторин Н.В. О водных массах континентальных водоемов // Труды ИБВВ АН СССР. 1965. Вып.7(10). С. 3–9.
4. Григорьев С.В. О некоторых определениях и показателях в озероведении // Материалы по гидрологии Карелии. Петрозаводск: Изд-во Карельск. филиала АН СССР. 1958. Вып.18. С. 41–45.
5. Дубровин Л.И. Новые данные к гидрометеорологической характеристике Камского водохранилища // Докл. IV Всеуральского совещ. по физико- и экономико-географическому районированию Урала / Перм.отд-ние Геогр. об-ва СССР. Пермь, 1958. С.58–65.
6. Знаменский В.А. Гидрологические процессы и их роль в формировании качества воды. Л.:Гидрометеиздат, 1981. 247 с.
7. Караушев А.В. Внешний водообмен и формирование качества воды в озерах и водохранилищах // Труды ГГИ. Л.:Гидрометеиздат, 1978. Вып. 249. С. 48–62.
8. Китаев А.Б. Роль гидродинамических факторов в формировании гидрохимического режима долинных водохранилищ (на примере камского каскада) : автореф. дисс... канд. геогр. наук. Пермь, 1983. 22 с.
9. Литвинов А.С. Энерго- и массообмен в водохранилищах Волжского каскада. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2000. 83 с.
10. Тимченко В.М. Эколого-гидрологические исследования водоемов Северо-Западного Причерноморья. Киев: Наукова Думка, 1990. 240 с.
11. Филь С.А. Водообмен крупных водохранилищ юго-запада Европейской части СССР // Рыбное хозяйство. Киев: Урожай, 1971. № 12. С. 122–127.
12. Фортунатов М.А. О проточности и водообмене водохранилищ // Труды ИБВВ АН СССР. Л.: Наука, 1974. Вып. 26(29). С. 111–120.
13. Штефан В.Н. Водообновление стока Москворецкой системы // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География, 1979. № 4. С. 84–89.
14. Штефан В.Н. Водообмен водохранилищ волжско-касмкого каскада // Комплексные исследования водохранилищ. М.: Изд. МГУ, 1980. Вып. 5. С. 46–55.
15. Эдельштейн К.К. Водоохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.

SUMMARY

The parameter of external water exchange offered by L.I.Dubrovinyum, reflects character of regulation of a drain water reservoirs. A parameter of an exchange of waters, the presented by S.V.Grigorevym, reflects a natural component of nature-technogenic system, what the water reservoir is. It is most brightly expressed for the uppermost reservoirs in the cascade. Concerning the water reservoirs which are being cascade position, the given parameter reflects both parties of nature-technogenic system. Researches on Kama and Воткинск water reservoirs for the long-term period have proved first two positions.

