

О.В. Ларченко, А.Б. Китаев

ОЦЕНКА ОБМЕНА ВОД В ЗАЛИВАХ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ (НА ПРИМЕРЕ МАЛЫХ ЗАЛИВОВ ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

O.V. LARCHENKO, A.B. KITAEV

ESTIMATION OF THE EXCHANGE OF WATERS IN GULFS OF ARTIFICIAL RESERVOIRS (ON EXAMPLE OF SMALL GULFS OF VOTKINSKOE RESERVOIR)

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

Представлены возможные варианты оценки обмена вод в заливах искусственных водоемов. На примере малых заливов Воткинского водохранилища показано, что обмен вод в них целиком зависит от характера регулирования стока Камской ГЭС. Экосистемы заливов во многом зависят от их водного режима и, прежде всего, от обмена вод в них.

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

Обмен вод в искусственных водоемах, каковыми являются водохранилища, а также в их отдельных районах и участках определяет специфику гидродинамических, гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических особенностей этих водных объектов. Оценка этой специфики позволяет осуществлять прогнозирование экологической ситуации в исследуемых водоемах, что весьма важно для отраслей хозяйства региона или всей страны, использующих ресурсы данного водного объекта.

В настоящее время разработан целый ряд методических подходов к оценке внешнего и внутреннего водообмена водохранилищ и их конкретных частей [2]. При этом такая оценка проведена различными исследователями как в целом по искусственным водоемам, так и по отдельным морфометрическим участкам их главных плесов. Заливы же водохранилищ чаще всего остаются вне поля зрения исследователей. Подходя к оценке водообмена в заливах, необходимо учитывать их специфику и, прежде всего, их генезис. Чаще всего заливы водохранилищ образованы в устьевых участках впадающих притоков. Они могут быть образованы и в результате затопления отдельных (попавших в зону затопления) понижений местности при образовании искусственного водоема. В первом случае могут быть применены широко используемые в практике показатели внешнего водообмена:

$$D_1 = \frac{W_{np}}{V_3}, \quad (1)$$

$$D_2 = \frac{W_{cm}}{V_3}, \quad (2)$$

где W_{np} – объем притока воды в залив, т.е. поступление вод из водотока в вершине залива; W_{cm} – объем стока воды из залива в главный плес водохранилища; V_3 – объем воды в заливе.

При этом если расход воды водотока, впадающего в залив, значителен, то целесообразно использовать обе приведенные формулы или первую из них. Если же этот расход мал, то лучше использовать вторую формулу. Такой подход (относительно камских водохранилищ) применен, например, Т.П. Девятковой и Г.В. Морозовой [1] при оценке обмена вод в Чермозском заливе Камского водохранилища. Рассматривая формулы (1,2), следует отметить, что определение величины V_3 не вызывает затруднений, W_{np} может быть определена по величине расхода воды впадающего в залив водотока. Определение величины W_{cm} возможно только на основе использования воднобалансовых соотношений, что применительно к небольшому заливу весьма затруднительно.

В случае наличия заливов, образовавшихся при затоплении понижений местности, использование формулы (1) невозможно, а формулы (2) затруднительно (сложно определить величину W_{cm}). В силу этого для оценки обмена вод в таких заливах следует использовать другой

подход. На наш взгляд, в качестве такового следует использовать модель В.А. Знаменского, которая позволяет оценить обмен вод (внутренний водообмен) путем расчета объемных соотношений. Применительно к заливу она имеет следующий вид:

$$D_6 = \frac{\Delta W_3}{V_3}, \quad (3)$$

где ΔW_3 – изменение объема вод залива за конкретный промежуток времени.

В настоящей работе объектом исследования являются небольшие заливы Воткинского водохранилища в районе курорта «Усть-Качка», образовавшиеся в результате затопления понижений местности (пойменных озер) в долине р.Камы.

Морфометрическая характеристика заливов

Исследуемая территория – это часть четко выраженной долины р. Камы. Местность представляет собой развитый в геоморфологическом отношении пойменный массив, на поверхности которого прослеживаются гривы – остатки древних прирусловых валов, в понижениях между которыми сохраняются пойменные озера вытянутой, четковидной формы. Вблизи береговой черты водохранилища располагаются почти параллельные цепочки замкнутых озер, находящихся на разных стадиях своего развития – от начальных до конечных стадий заболачивания. Вследствие их малой доступности эти озера не были охвачены измерениями. Летом они имеют только гидравлическую связь с водохранилищем, а весной промываются его водами. Самое крупное озеро – Рязановское, расположенное в вершине Камской излучины и малодоступное для людей, находится в хорошем состоянии.

Таким образом, водные объекты представлены здесь заливами, имеющими одно устье и серией небольших пойменных озер. Заливы образовались при заполнении Воткинского водохранилища, в руслах малых рек и ручьев, а также в понижениях между прирусловыми валами путем слияния отдельных озер и небольших рек в единый водноландшафтный комплекс. В целом заливы сохраняют морфологические особенности существовавших прежде водных объектов. На основе съемок заливов рассчитаны их морфометрические показатели [3]. За период между съемками (1997–2000) основные морфометрические показатели практически не изменились, что свидетельствует о стабильном состоянии заливов в условиях регулярного чередования волн попусков от плотины Камской ГЭС.

На расстоянии 160 м от устья комплекс заливов разветвляется на три разных в морфометрическом отношении части, причем две из них имеют свои собственные довольно большие ответвления, третья же хоть и невелика по протяженности, но представляет гидрологический и рекреационный интерес.

Длина самого большого залива I (рис. 1) составляет 2 км, наибольшая ширина 97,4 м (при средней 43,2). Площадь зеркала и объем водной массы при НПГ (89,0 м абс) 0,19 км² и 0,27 км³ соответственно, что составляет 66% и 67% от площади и объема всего комплекса заливов (табл. 1). На расстоянии 900 м от устья имеется довольно крупное и практически прямолинейное ответвление (*Ia*) длиной около 600 м. Основная же часть залива в месте разветвления резко поворачивает на северо-восток под углом, близким к 90°. Именно этот участок залива характеризуется наибольшей шириной – 97,4 м, глубиной – 3,19 м и, как следствие, площадью и объемом. На расстоянии 1,6 км от устья ширина залива I уменьшается почти в 2 раза и не превышает 35 м. На всем своем протяжении залив имеет только один небольшой приток – р.Тетерку с заболоченным руслом.

В отличие от первого залива II довольно узок: наибольшая ширина – 31,7 м и средняя – 22,9. Он расположен параллельно водохранилищу, длина составляет около 1,5 км. Первые 800 м залива имеют прямолинейные очертания, остальная часть водоема очень извилиста. На некоторых участках русло меняет свое направление под углом, близким к 90° (рис.1). Наибольшие глубины приурочены к центру и левому берегу. Максимальная глубина составляет 3,57 м, средняя – 1,42. Площадь и объем при НПГ соответственно равны 0,086 км² и 0,12 км³ (табл. 1).

Залив III сильно отличается от первых двух, так как имеет небольшие длину (всего 0,7 км), ширину (не превышающую 30 м) и глубины (чуть больше 1 м). При значительной сработке водохранилища он исчезает, а заливы I и II превращаются в узкие неглубокие водоемы, за исключением центральной их части.

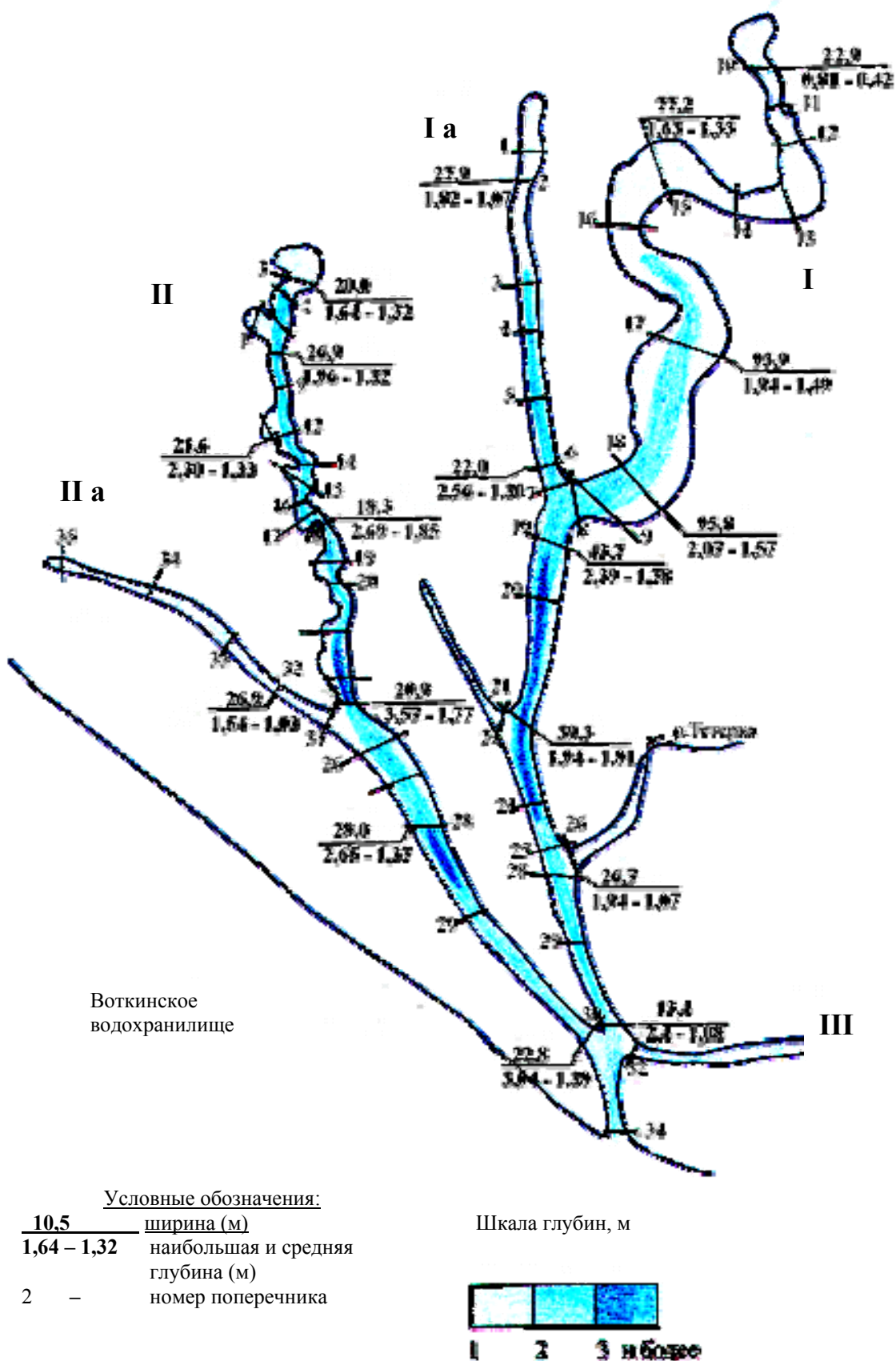


Рис. 1. Внемасштабная схема заливов вблизи д.Одино при НПГ=89,0 м абс (1997)

Основные морфометрические показатели заливов

Залив	Площадь, F		Объем, V		Глубина, Н		Ширина, В		Длина, L км
	км ²	%	км ³	%	макс	сред	макс	сред	
I	0,19	66	0,27	67	3,19	1,43	97,4	43,2	2,00
II	0,086	29	0,12	30	3,57	1,42	31,7	22,9	1,54
III	0,01	5	0,01	3	1,0	0,9	30,0	15,0	0,70
всего	0,228	100	0,40	100	3,57	1,16	97,4	27,0	

Уровенный режим заливов

Заливы имеют непосредственную связь с водохранилищем. Уровень воды в них колеблется в соответствии с его водным режимом. Кроме того, в заливах наблюдаются течения, меняющие направление в зависимости от фазы попуска. Определить количественно степень влияния попусков воды на характер изменения уровня в заливах оказалось невозможным по двухразовым наблюдениям. Однозначно можно сказать лишь то, что подъемы уровня на водохранилище соответствуют подъемам и на заливах. Но сроки наступления этих пиков различны, т.е. существует определенное время добегания.

В период навигационной сработки водохранилища (август) наблюдаются более резкие колебания уровня, чем в предыдущий – сразу после наполнения (июнь–июль). Максимальные внутрисуточные изменения достигают 0,65–0,70 м. Это ненамного больше средних величин. В этот период визуально отмечаются также быстрый подъем уровня и обратные течения. Подобные явления не наблюдаются в период наполнения, когда внутрисуточные колебания не столь велики. Они лишь однажды достигли величины 0,60 м.

Что касается уровенного режима заливов в период весеннего наполнения и зимнюю межень, то о нем можно судить лишь предположительно. Зная о связи уровенного режима заливов с водами водохранилища, можно считать, что величины уровней в заливах будут приблизительно соответствовать уровням на ближайшем посту водохранилища (г.Краснокамск). Сроки их наступления будут несколько отличаться в соответствии со временем добегания. В период зимней межени при уровне воды в водохранилище на в/п г. Краснокамск 87,00 м абс (02.11.1974) глубина в самых глубоких частях заливов уменьшается с 3,0 м до приблизительно 0,05–0,02 м. В период весеннего наполнения при уровне воды 92,00 м абс (27.05.1974) заливы превращаются в единый водный поток. Проведенные учащенные наблюдения за уровнем воды с интервалом 10–15 мин (иногда чаще), когда вверх по течению поднимается волна попуска, позволили нам установить суточный режим наполнения и сработки заливов в зависимости от режима попуска Камской ГЭС.

Самый низкий уровень отмечался около 10 ч. утра, самый высокий – в 12–13 ч. дня. Ход уровня характеризовался достаточно интенсивным подъемом и менее интенсивным, зато более продолжительным спадом. Уровни воды в водохранилище и в заливе изменялись практически синхронно. Согласно полученным результатам амплитуда колебаний уровня воды в течение суток составила 0,40–0,45 м, с минимальными отметками 88.67м абс утром и максимальными 89.10м абс днем. Однако измерение расходов воды гидрометрическим способом оказалось невозможным в связи с особенностями кинематики потока воды в заливах.

При наполнении водохранилища в утренние часы, с 10 до 15 ч по местному времени, происходит распространение прямой положительной волны вниз по течению. В это время на заливах наблюдается течение, противоположное общему направлению потока, обратная положительная волна. При сработке картина иная: волны совпадают. Движение в заливах носит ярко выраженный неустановившийся характер с водоворотными зонами, вихрями с вертикальной осью.

В безветренную погоду при интенсивном попуске водохранилища такие вихри отмечаются визуально. Водная поверхность «покрывается» множеством беспорядочно располагающихся вихревых структур диаметром от 5 до 15 см, которые перемещаются в сторону осредненного течения. Наиболее заметны они в нижней части – в устье, где происходит интенсивное смешение вод заливов и водохранилища. Появление таких воронок связано с наличием двух противоположных по направлению течений. Сверху, со стороны заливов, идет медленно изменяющийся с малыми скоростями поток воды, а навстречу, со стороны водохранилища, – поток большей мощности. Это

приводит к тому, что воды водохранилища, имеющие большие скорости течения, сталкиваясь с водами заливов, и, вследствие торможения «заставляют» их закручиваться в воронки.

При невозможности измерений расходов воды наблюдения за уровнями в заливах дают возможность оценить в них характер водообмена. Процесс водообмена водоемов в целом, а также их отдельных районов и участков определяют специфику их гидродинамических, гидрохимических, тепловых, гидробиологических особенностей. Это позволяет прогнозировать экологическую ситуацию в искусственных водоемах, учитывая природные и антропогенные факторы, а также режим регулирования.

Обмен вод

Водообмен является одной из важнейших характеристик водного режима объектов с неустановившимся характером движения, каким является водохранилище. От него зависят практически все элементы их сложнейшей по структуре и функционированию экосистемы.

Для заливов, как водоемов с неустановившимся характером движения, можно применять коэффициенты водообмена, типичные для водохранилищ. Они характеризуют интенсивность наполнения и сработки водоема. Для искусственных водоемов водообмен является основной характеристикой, по которой можно судить о динамике всех внутриводоемных процессов.

Настоящими исследованиями охвачена фаза летне-осенней стабилизации уровня воды в водоеме и частично спад весеннего наполнения. Охарактеризовать обмен вод заливов в зимний период невозможно по причине их практически полного высыхания. Во время наполнения водохранилища весной все заливы превращаются в единую водную систему.

В настоящей работе был использован показатель водообмена $\frac{\Delta W_3}{V_n}$, где $\Delta W_3 = V_k - V_n$; V_n – объем водной массы к началу расчетного времени, V_k – объем водной массы к концу расчетного времени. Величины V_n и V_k определены по предварительно построенным объемным кривым для всех заливов. В качестве расчетного интервала времени взят один час. Величины ΔW_3 могут принимать как положительные (в фазу наполнения водоема), так и отрицательные (в фазу сработки) значения.

Своего максимального значения коэффициент внутреннего водообмена достигает в утреннее время, с 10.00 до 12.00 ч., на III заливе и составляет 0,40 (табл.2). Высокое значение коэффициента говорит о хорошей промываемости залива III в период наполнения водохранилища. Данный коэффициент увеличивается с уменьшением размера заливов. Наименьшее значение, равное -0,16, он принимает на I заливе (рис. 2). Средние сроки его наступления с 16.00 до 17.00 ч.

Таблица 2

Экстремальные значения характеристик водообмена заливов Воткинского водохранилища вблизи д.Одино

	Коэффициент $\Delta W_3/V_n$	
	Максимальное	Минимальное
Залив I и Ia	0,11	-0,049
Залив II и IIa	0,11	-0,061
Залив III	0,40	-0,13
Для всего комплекса заливов	0,12	-0,05

Водообмен оказывает влияние на состояние биоты в водоеме. При этом она сама «приспосабливается» к водному режиму водоема. Для одних организмов и растений это значение водообмена может быть приемлемым, «хорошим», а для других – нет, но все они приспосабливаются к такому водообмену. Исследования кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов на протяжении 30 лет (фондовые материалы) показали, что *прибрежные экосистемы заливов*, особенно тех, где наблюдается минимум антропогенной нагрузки, *стабильны*. Таким образом, были годы, когда в прибрежных фитоценозах появлялись какие-то новые растения, которые раньше здесь замечены не были, но в последующие годы они снова исчезали.

Все это свидетельствует о том, что экосистемы заливов находятся в устойчивом состоянии, они приспособились к водному режиму, их водообмену, а значит, он является «хорошим» для их устойчивого функционирования. Вывод об устойчивом состоянии водных экосистем заливов

относится к биотической части систем потому, что отдельные участки берегов заливов подвержены разрушениям. Выход за пределы амплитуды колебаний и нарушение ритмичности свидетельствуют о том, что в прибрежных экосистемах происходят изменения.

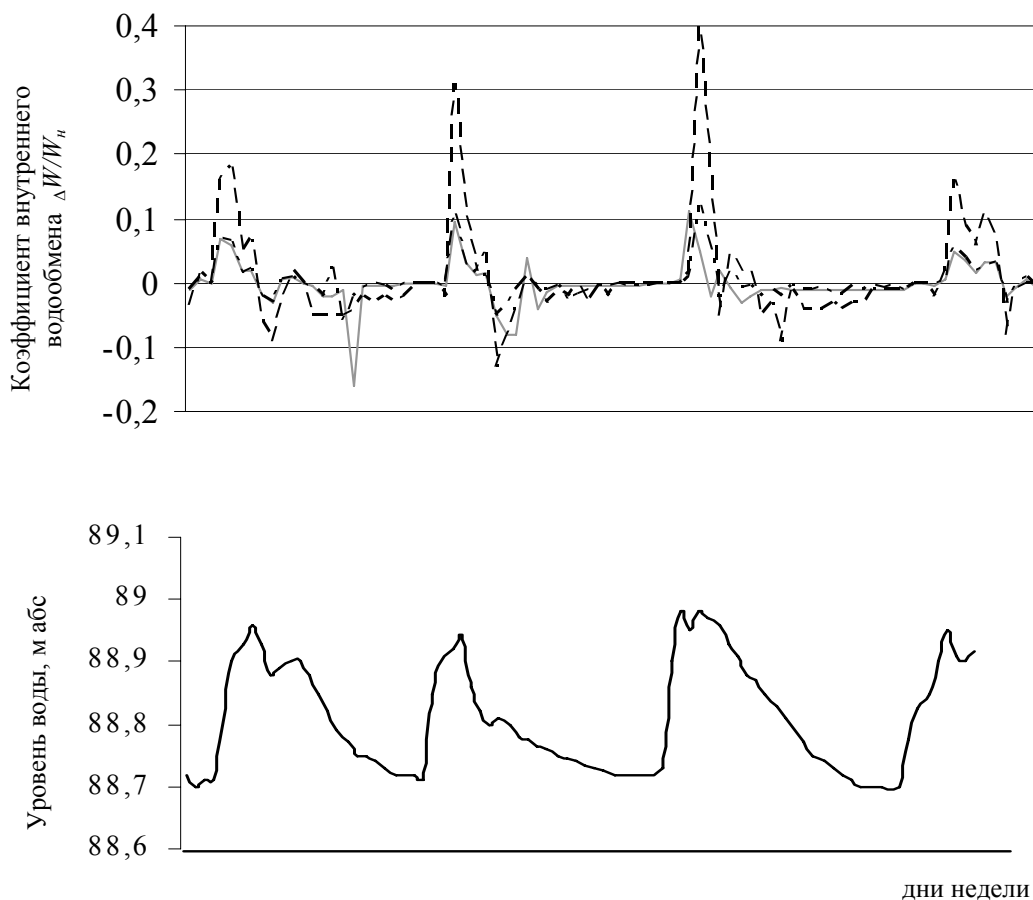


Рис. 2. Совмещенный график хода уровней воды (H , м) и коэффициента внутреннего водообмена $\frac{\Delta W}{W_n}$ на заливах Воткинского водохранилища (1998г.)

Таким образом, основной характеристикой водного режима таких водоемов, как заливы водохранилищ, является **водообмен**. Эта характеристика позволяет оценить водный фактор как системообразующий.

Выводы

1) Для оценки обмена вод небольших заливов, образованных в результате затопления понижений местности при создании водохранилища целесообразно использовать показатель вида

$$D_{\text{в}} = \frac{\Delta W_3}{V_3}$$

2) Оценка обмена вод в малых заливах Воткинского водохранилища показала, что водообмен в этих заливах может принимать как положительные, так и отрицательные значения и целиком зависит от характера регулирования стока Камской (прежде всего) и Воткинской ГЭС.

3) Исследования, проведенные в фазу летне-осенней стабилизации уровня воды (1997–2000 гг.), показали, что экосистемы изучаемых заливов во многом зависят от водного режима этих водных объектов и, прежде всего, от обмена вод в них.

Библиографический список

1. *Девяткова Т.П., Морозова Г.В.* Особенности гидрографии и водообмена восстанавливаемого Чермозского пруда // Географический вестник / Перм. ун-т; Пермь, 2005. №1-2. С. 82-88.
2. *Китаев А.Б.* Обмен вод в искусственных водоемах (на примере водохранилищ камского каскада). Пермь, 2005. 112 с.
3. *Ларченко О.В.* Морфометрия и морфология заливов Воткинского водохранилища в районе п.Усть-Качка // Экология: проблемы и пути решения: тез. докл. 6-й межвуз. конф. студ., аспирантов и молодых ученых. Пермь, 1998. С. 128.

SUMMARY

Possible variants of an estimation of an exchange of waters in gulfs of a water basin are analysed. It is established, that the water mode of small gulfs of Votkinsk water basin completely depends on character of regulation of drain by Kama hydroelectric power station.

