

## Оценка обмена вод на Камском водохранилище

А.Б. Китаев, А.В. Рочев

Пространственно-временные изменения водообновления на морфометрических участках исследуемого водоема оценены по выражению, предложенному А.П.Браславским [1]:

$$B=1 - \left( \frac{W_0}{W_t} \right)^{1+(V_c/W_t)/(1-(W_0/W_t))},$$

где  $W_0$  и  $W_t$  – начальный и конечный для расчетного периода времени объемы воды в водоеме (морфоучастке),  $V_c$  – объем стока на замыкающем створе водоема.

Выбор приведенного коэффициента для оценки водообновления Камского водохранилища определяется тем фактом, что он достаточно хорошо зарекомендовал себя на водоемах Москворецкой системы [3,4]. Расчет произведен для всех морфоучастков исследуемого водоема с момента его создания и по 1987 г. В качестве временного периода принят месяц. Объемы воды в начальный и конечный моменты времени для каждого участка водоемов определялись по значениям уровней воды на граничных створах с использованием объемных кривых. Объемы стока через замыкающий створ участков были вычислены с использованием среднемесячных расходов воды по методике, разработанной Т.П. Девятковой [2].

Расчет водообновления на Камском водохранилище по формуле А.П. Браславского показывает значительные колебания  $B$  во времени и пространстве (рис. 1). Водообновление достигает максимума (единицы) в весенне-летние месяцы: с апреля по июль на самой р. Каме (0 участок), с апреля по июнь – в районе выклинивания подпора (I район). II и III районы отличаются уменьшением водообновления (значение  $B$  в весенний период не всегда достигает единицы), причём степень обновления в этот период в обоих районах практически одинакова. Весенний максимум обусловлен значительной сработкой водохранилища водой весеннего половодья.

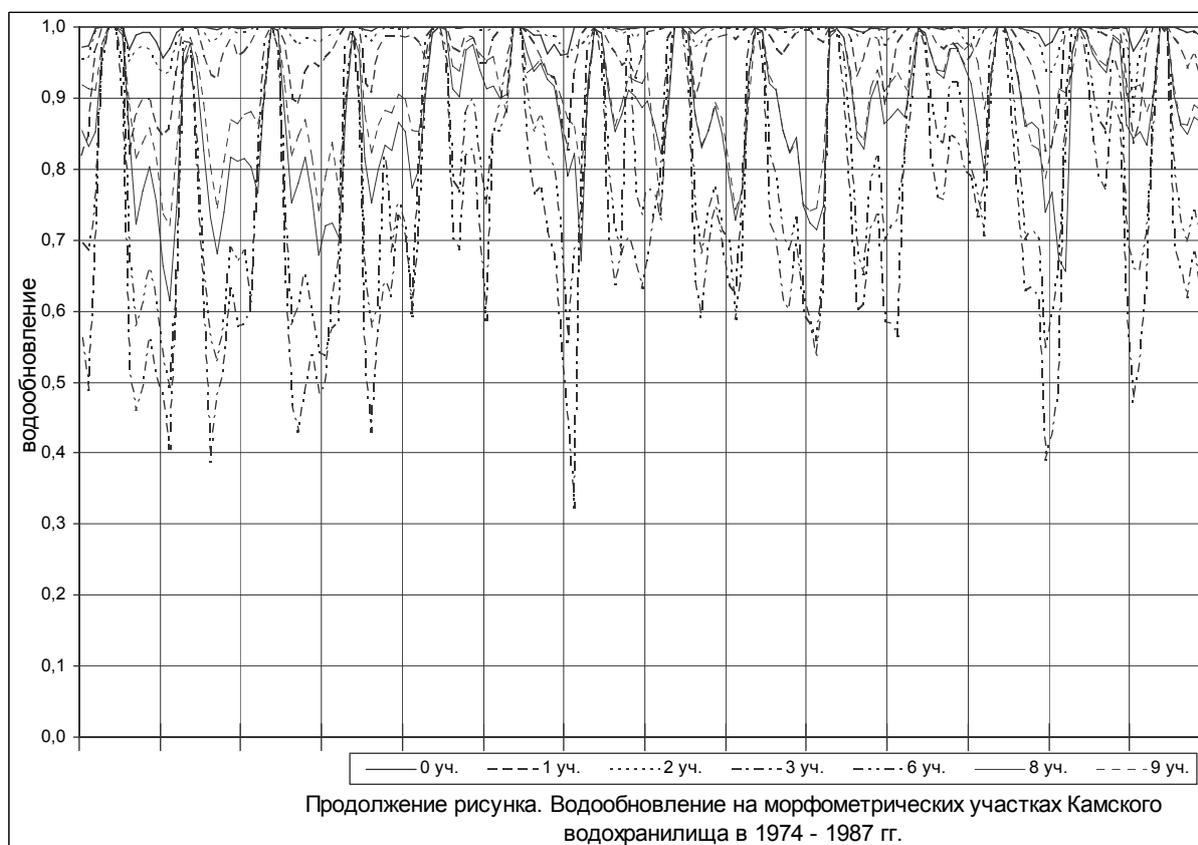
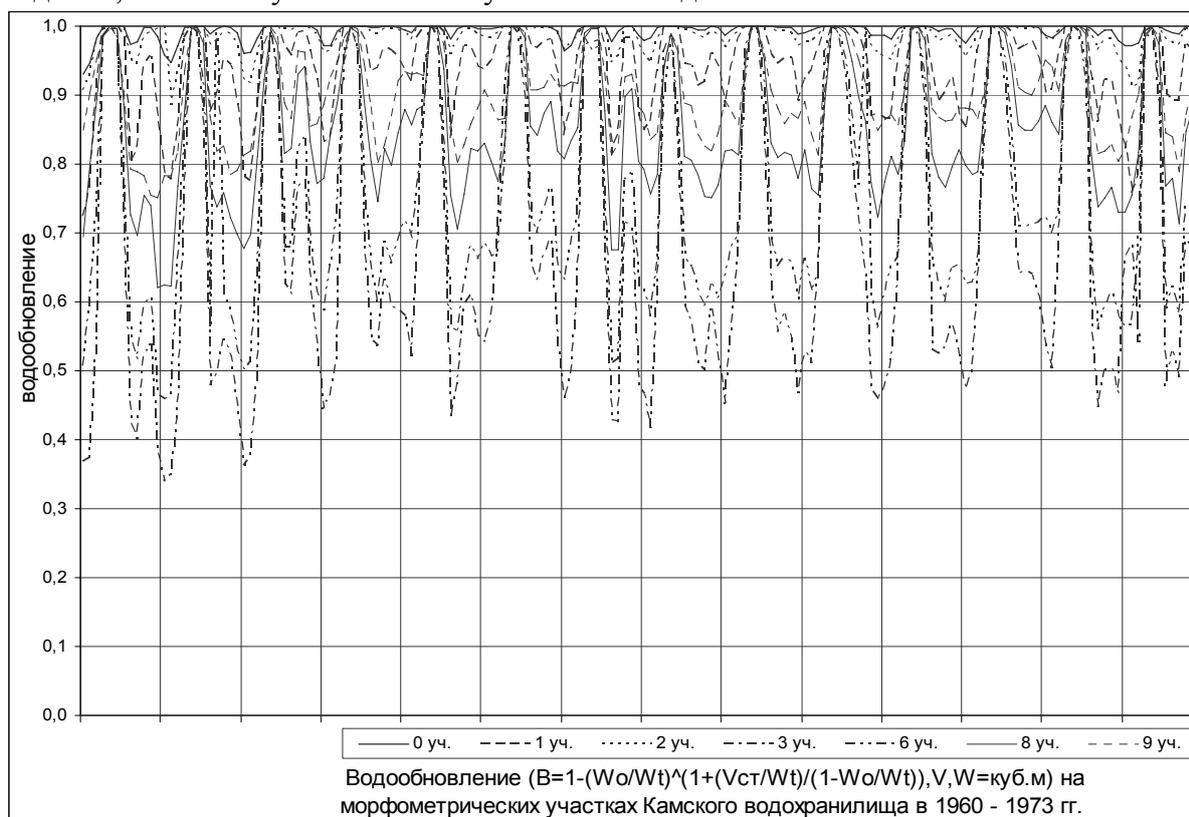
В конце летнего периода отмечается уменьшение водообновления не только в районе озеровидного расширения и приплотинном районе, но также в I районе и в самой р. Каме. Значение  $B$  минимально в 3-м участке, особенно в августе.

В осенний период (сентябрь, октябрь) наблюдается увеличение коэффициента  $B$ . На р. Каме его значение достигает 1,0, в I районе составляет 0,99 и уменьшается до 0,4 во II (на 3-м участке), затем возрастает в III районе до 0,7.

Зимний период (ноябрь – февраль) отличается сначала медленным понижением коэффициента по сравнению с коэффициентом осенних паводков, а затем повышением значения и установлением практического равенства с ним.

В целом в течение года коэффициент повторяет ход водообмена, т.е. наступление максимума в весенне-летний период (апрель – июнь) – 0,9 – 1,0, после чего во время летних месяцев (июль – август) наблюдается заметное понижение до 0,4 – 0,9, что вызвано испарением, малым притоком воды и регулирующей работой ГЭС. Повышение значения водообновления осенью (сентябрь – октябрь) до 0,5 – 1,0 вызвано значительными паводками. Зимой выделяются два периода водообновления: сначала уменьшение до 0,3 – 0,9 в ноябре – декабре, а затем повышение до 0,4 – 0,9 в январе – феврале. Последнее связано с уменьшением объёма водной массы к концу водохозяйственного года. В начале весеннего периода (марте) при продолжающемся ледоставе отмечается не-

которое увеличение объёма сработки ГЭС перед ожидающимся весенним наполнением водоёма, что неминуемо вызывает увеличение водообновления.



Изменение коэффициента  $V$  при движении к плотине вызвано разными объёмами водной массы каждого участка, а следовательно, и разным временем водообмена при достаточно равномерном объёме сработки (расхода) по расчётным створам.

Максимальных значений водообновление достигает в районе выклинивания подпора, где не так явно сказывается регулирование, вызванное работой плотины ГЭС, и отмечается малый объём водной массы этого района.

Для 0 участка (Тюлькино – Березники) характерны самые большие значения коэффициента водообновления. В течение рассматриваемого периода (1959 – 1987 гг.) внутригодовое значение  $V$  было в пределах 0,9 – 1,0, причём почти в половине каждого года он был равен 1,0, а в 1965, 1968, 1976, 1977, 1978, 1980, 1981, 1982, 1984 гг. коэффициент был равен 1,0 в 9 месяцах. Минимальные значения коэффициента (от 0,92) характерны для зимнего периода (декабрь – февраль). После этого водообновление достигает максимума во время весеннего наполнения водохранилища, уменьшается в летний период (август – сентябрь) до 0,96, возрастает в период осенних паводков (до ноября) и вновь уменьшается с началом зимней сработки водоёма.

На 1-м участке (Березники – Быстрая) водообновление уменьшается по сравнению с р.Камой, что связано с увеличением объёма водной массы. Здесь коэффициент достигает 1,0 только в течение одного квартала календарного года (с апреля по июнь), кроме 1967, 1975 гг., когда в июне 1 была не достигнута. Наименьшее значение 0,725 было в январе 1960г. Водообновление изменяется от 0,7 до 1,0 и повторяет ход водообмена 0 участка.

2-й участок (Быстрая – Усть-Пожва) характеризуется сужением водоёма и, как следствие, уменьшением водной массы по сравнению с 1-м участком и, следовательно, более быстрым водообновлением. На участке в среднем 4 месяца каждого года коэффициент  $V$  равен 1,0 (апрель – июль), а его колебания составляют 0,8 – 1,0. В 1961, 1966, 1967, 1973, 1975, 1977 гг. лишь 3 месяца (с апреля по июнь) коэффициент достигал 1,0. В 1980 г. 1,0 была зафиксирована лишь в мае и июне. В 1962г. коэффициент  $V$  достигал 1,0 в апреле – июне и сентябре – октябре, в 1969 г. с апреля по сентябрь; 1978 г. отличается наступлением максимума с марта по июль, а также в октябре и ноябре; 1986 г. 1,0 – с апреля по ноябрь.

II район (озеро-видного расширения) отличается наименьшим значением водообновления в Камском водохранилище. Это обусловлено большим объёмом водной массы. Как и на предшествующих участках, минимальные значения коэффициента приходятся на период зимней сработки водоёма и летний период, а максимальные – на весеннее половодье. Некоторое увеличение отмечается в период осенних дождевых паводков.

3-й участок (Усть-Пожва – Чёрмоз) является самым широким из всех морфоучастков водоёма и содержит наибольший объём водной массы. Водообновление может достигать 1,0 один раз в год (в мае) и изменяется от 0,3 до 1,0. В 1961, 1962, 1966, 1967, 1970, 1973, 1975, 1977, 1978, 1983 гг. коэффициент не достиг 1,0 ни в один из месяцев. Наименьшее значение было в январе 1961 г. – 0,34. Увеличение коэффициента осенью связано также с впадающими крупными притоками – реками Косьва и Иньва.

На 6-м участке (Чёрмоз – Слудка) водообновление несколько выше: колеблется от 0,4 до 1,0, и равняется 1,0 в мае. Общий ход водообновления повторяет его динамику в предыдущем районе, т.е. максимальные значения наблюдаются в весенний период (апрель – июнь), составляя 0,9 – 1,0, после чего коэффициент понижается до 0,4 – 0,5 в августе, и в результате воздействия осенних осадков повышается к сентябрю – октябрю до 0,6 – 0,7; зимний период (декабрь – февраль) отличается минимальным водообновлением – 0,3 – 0,4. Минимальное значение относится к декабрю 1959 г. – 0,44. В много-

водном 1979 г. коэффициент достигает 1,0 в мае и июне, а в маловодном 1967 г. в мае – 0,97.

В III районе (приплотинном) наблюдается повышение коэффициента по сравнению со II районом. Это вызвано меньшим объёмом водной массы.

На 8-м участке (Слудка – Добрянка) коэффициент водообновления достигает 1,0 в мае, его наибольшие значения регистрируются в период апрель – июль. Значение, равное 1,0, не отмечалось в 1962, 1966, 1967, 1969, 1973, 1983, 1984, 1975, 1977 гг. В 1965, 1974, 1979, 1981, 1985 гг. наблюдается 1,0 за 2 месяца – май – июнь. Значение коэффициента колеблется в течение года от 0,6 до 1,0. Минимум 0,61 относится к декабрю 1959 г. Маловодный 1967 г. в мае дал коэффициент 0,99, 1975 г. – 0,98.

9-й (приплотинный) участок (Добрянка – КамГЭС) характеризуется повышенной по сравнению с предыдущим участком величиной водообмена. Для него колебания составляют от 0,7 до 1,0. Этот участок более узок, чем предыдущий, хотя объёмы воды практически одинаковы, кроме того, сказывается близость к плотине ГЭС и впадение крупного притока (вода Сылвенско-Чусовского плёса). В течение года водообновление повторяет его ход в других районах: весенний максимум наступает в мае – июне, после чего незначительно понижается (до 0,9) в июле и резко уменьшается до 0,6 к зимнему периоду (декабрю – февралю), лишь октябрь отличается повышением коэффициента на 0,1 по сравнению с предыдущими месяцами. За март – апрель значение коэффициента повышается на 0,2 – 0,3. Коэффициент достигает 1,0 в мае и в июне (1961, 1964, 1965, 1968, 1969, 1971, 1972, 1974, 1979, 1981, 1985 гг.). но в тот же период 1959, 1960, 1962, 1966, 1967, 1975, 1977, 1980, 1983, 1986 гг. коэффициент, равный 1,0, не был зафиксирован. Минимальное значение 0,72 приходится на февраль 1975 г.

Изменение водообновления в различные по водности годы прослеживается не столь отчетливо, как изменение водообмена. Это объясняется рамками самого значения коэффициента  $0 \leq B \leq 1$ . Кроме того, так как Камское водохранилище относится к аккумулятивно-транзитной группе водоёмов с большим водообменом, то формула не может отразить водность года из-за незначительных отклонений коэффициента из года в год. За исследуемый период различную водность можно определить по пределам колебаний значений водообновления. В I районе коэффициент изменялся от 0,7 до 1,0 в 1959 – 1962, 1973; от 0,8 до 1,0 – в 1963, 1966 – 1972, 1974 – 1976, 1979 – 1981, 1983, 1985 – 1987 г.г., а максимальные значения (более 0,9) были зафиксированы в 1964, 1965, 1977, 1978, 1982, 1984 гг. Для II района значение коэффициента колебалось от 0,3 до 1,0 в 1959 – 1962, 1975, 1980, 1985; от 0,4 до 1,0 – в 1963, 1964, 1966 – 1974, 1976, 1977, 1986 – 1987; от 0,5 до 1,0 – в 1965, 1978, 1979, 1981 – 1984 г.г. В III районе колебание 0,6 – 1,0 наблюдалось в 1959 – 1962, 1966, 1975, 1976, 1980, 1986; 0,7 – 1,0 – в 1963 – 1965, 1967 – 1974, 1977, 1978, 1982, 1983, 1985, 1987; 0,8 – 1,0 – в 1979, 1981, 1984 гг. Можно видеть, что наименьшая водность отмечалась во всем водохранилище до 1962 г., в 1975 и 1980 гг., а наибольшая – в 1965, 1978, 1979, 1981, 1984 гг., 1967 и 1979 гг. как маловодный и многоводный соответственно дают отличия коэффициента на 0,1 – 0,2 по всем участкам и месяцам.

### Библиографический список

1. *Браславский А.П.* Расчет минерализации воды в водохранилищах / А.П.Браславский // Гидрохимические материалы. 1961. Т.32. С.72 – 96.
2. *Девяткова Т.П.* К вопросу об определении среднемесячных расходов воды в водохранилищах / Т.П.Девяткова // Анализ и прогноз метеорологических элементов и речного стока. Вопросы охраны среды. Пермь, 1979. С.129 – 134.

3. *Штефан В.Н.* К расчету водообмена долинных водохранилищ / В.Н.Штефан // Вестн. Моск.ун-та. Сер. 5, география. 1975. №5. С. 71 – 75.
4. *Штефан В.Н.* Показатели водообмена водохранилищ / В.Н.Штефан, К.К.Эдельштейн // Матер. 5-го Всесоюз. науч. симпозиума по современным проблемам самоочищения и регулирования качества воды. Таллин, 1975. Секция 4.Ч.11. С.262 – 267.