

УДК 556.552

Гидродинамический режим приплотинной части Камского водохранилища (в многолетнем аспекте и по материалам современных исследований)

С.А. Двинских, А.Б. Китаев, И.К. Мацкевич
Пермский государственный университет

Необходимость настоящего исследования вызвана предполагаемым строительством ЦБК в районе г. Добрянки. Получены новые данные, позволяющие дать объективную оценку современного экологического состояния изучаемого водоема на участке Ломоватовка-Камская ГЭС.

Уровенный режим

Рассматриваемый район водохранилища (Добрянка - КамГЭС) постоянно находится в подпоре от плотины Камской ГЭС. Характеристика уровенного режима исследуемого участка дана по материалам ГУ «Пермский ЦГМС» за период с 1964 по 1987 г. по трем водомерным постам: Добрянка, Хохловка и в/б Камская ГЭС.

Особенности уровенного режима как в многолетнем аспекте, так и внутри конкретных лет оценены путем анализа фазово-однородных уровней (по датам наступления и отметкам) (табл.1).

Таблица 1

Фазово-однородные уровни по в/п Камское водохранилище – г.Добрянка («0» гр./п 100 м абс.) за 1964-1987 гг.

Уровень	Уровень над «0» гр. Поста, см		
	Даты		
	ранняя	поздняя	медиана
Наибольшей зимней сработки	$\frac{16}{28,3}$	$\frac{179}{27,04}$	$\frac{95}{12,04}$
Начала подъема при наполнении весной	$\frac{16}{31,03}$	$\frac{179}{30,4}$	$\frac{110}{15,04}$
Начала весеннего ледохода	$\frac{174}{18,04}$	$\frac{568}{8,05}$	$\frac{403}{28,04}$
Конца интенсивного подъема при наполнении весной	$\frac{737}{8,05}$	$\frac{878}{5,06}$	$\frac{856}{25,05}$
Максимальный навигационный	$\frac{847}{17,05}$	$\frac{881}{7,08}$	$\frac{862}{10,06}$
Минимальный навигационный	$\frac{500}{11,07}$	$\frac{831}{19,11}$	$\frac{747}{21,09}$
Начала осенних ледовых явлений	$\frac{500}{11,10}$	$\frac{859}{28,11}$	$\frac{763}{4,11}$
Первого дня ледостава	$\frac{472}{26,10}$	$\frac{851}{1,12}$	$\frac{754}{9,11}$
Начала интенсивной сработки зимой	$\frac{439}{2,11}$	$\frac{838}{22,1}$	$\frac{696}{4,12}$

Весеннее наполнение водохранилища всегда выполняется в определенном режиме, который рассчитывается для конкретного половодья. Ход уровня воды во время наполнения зависит прежде всего от режима эксплуатации водоема. По многолетним данным весеннее наполнение водохранилища начинается 18-22 апреля. Наиболее ранняя дата наполнения была отмечена весной 1962 г. (18 апреля), наиболее поздняя наблюдалась в 1961 г. (28 апреля). К началу фазы весеннего наполнения в водоеме наблюдаются минимальные годовые уровни воды. До 1960 года они достигали отметок 100,0-100,7 м абс., а с 1961 г. – 101,5-103,0 м абс. Продолжительность наполнения в зависимости от водности года составляет от одного до полутора месяцев, иногда затягиваясь до двух месяцев. Интенсивность наполнения составляет в среднем 12-17 см/сут.

Скорость и длительность наполнения чаши водохранилища находится в прямой зависимости от объемов снеготаяния в бассейне, интенсивности снеготаяния, а также от заданных условий обеспечения уровней воды в нижнем бьефе ГЭС. К моменту вскрытия водохранилища ото льда уровни воды на большей части водоема значительно повышаются, достигая отметок 104,3-104,6 м абс. Заканчивается наполнение по многолетним данным в первых числах июня (самое раннее – в последней декаде мая, самое позднее – в середине июня). До 1959 г. наполнение производилось до отметки 108,0 м абс., а с 1960 г. – до 108,5 м абс.

В фазу летне-осенней стабилизации уровня воды Камская ГЭС работает преимущественно на бытовых расходах, уровни воды при этом длительное время почти не меняются. Результаты статистической обработки многолетних рядов уровней воды по в/п Добрянка, Хохловка и КамГЭС (в/б) свидетельствуют, что наиболее часты уровни в этот период в диапазоне 108,0-108,5 м абс. При этом продолжительность стояния уровня на отметках выше 107,0-107,5 м абс. составляет 85-92 %. В маловодные годы, когда приток в водохранилище значительно меньше средних многолетних значений, навигационные уровни постепенно понижаются. При неоднократных увеличениях притока воды в водоем в связи с обильными дождями в бассейне ход уровня в летний период носит волнистый характер. При этом уровни воды могут колебаться в пределах от 0,5 до 1,9 м. Осенью (в октябре или первой половине ноября), после продолжения дождевых паводков, приток воды в водохранилище заметно возрастает и уровни воды приближаются в НПУ. При формировании значительных осенних паводков возможны подъемы уровня воды выше максимальных отметок в период весеннего наполнения водоема. Так, осенью 1962 г. уровень воды достиг отметки 108,99 м абс., что на 0,5 м выше отметки весеннего наполнения.

По многолетним данным фаза зимней сработки водохранилища в исследуемом районе начинается чаще всего в первой декаде ноября, иногда смещаясь на вторую декаду. Заканчивается зимняя сработка в середине апреля. Ее продолжительность колеблется от 125 до 155 дней. Интенсивность понижения уровней в этот период составляет 2,3-6,1 см/сут. Наиболее быстро уровень воды снижается в марте. До 1960 г. амплитуда сработки была в

пределах 7,5-7,8 м. Наинизшие уровни воды в/п Добрянка, Хохловка и КамГЭС (в/б) на протяжении многих лет достигали значений в диапазоне от 100,1 до 100,7 м абс. Согласно действующим в настоящее время Правилам эксплуатации водоема (ПИВР) величина зимней сработки уменьшена. В последние годы минимальные уровни воды в середине апреля не опускаются ниже отметок 101,3-103,2 м абс.

При характеристике условий, определяющих факторы формирования экологической опасности (риска) на водохранилище, имеют значение экстремальные уровни воды и даты их наступления. Анализ уровенного режима за многолетний период показал, что максимальных значений уровень воды может достигать чаще всего во время весеннего наполнения водоема (17 случаев из 21), но может он наблюдаться и в период летне-осенних дождевых паводков (4 случая). При формировании максимальных уровней во время весеннего наполнения водоема возможны несколько вариантов:

- Наивысшие значения уровней наблюдаются в конце второй декады мая. На исследуемом участке водохранилища этот уровень чаще всего приходится на 20 мая.
- Наивысший навигационный уровень формируется в третьей декаде мая. При этом варианте максимальной отметки уровень в районе Добрянки, Хохловки и в/б Камской ГЭС достигает 24 мая.
- Максимальный навигационный уровень при наполнении водоема формируется в первой или второй декадах июня. На участке Добрянка – КамГЭС этот уровень чаще всего приходится на 5-7 июня.

За рассматриваемый период (1964-1987 гг.) летние дождевые паводки вызвали подъем уровней воды в водохранилище до наивысших навигационных отметок два раза (6-7 августа 1968 г. и 11-12 июля 1971 г.). Осенние дождевые паводки отличаются от летних большей синхронностью появления. Уровни воды в осенний период достигают максимальных навигационных величин также два раза (в 1975 и 1984 гг.). На участке Добрянка – КамГЭС они наблюдались в период с 24 по 30 октября.

Высокий подъем уровня воды в водохранилище создает реальную опасность активизации процесса переработки берегов водоема. Так, в период весеннего наполнения водохранилища в многоводном 1979 г. в приплотинной части водоема берега обрушились в среднем на 10 м. Высокое стояние уровней в водоеме оказывает опосредованное влияние на размеры ветровой волны. При этом следует иметь в виду, что такое стояние уровней чаще всего совпадает со временем весенних и осенних штормов на водохранилище.

Минимальные уровни воды, наблюдаемые в фазу зимней сработки водоема, большой роли в формировании условий возникновения экологического риска в приплотинной части водоема (Добрянка-КамГЭС) по сравнению с верхней и центральной частями водохранилища, не играют.

Во время проведения полевых работ в приплотинной части Камского водохранилища в 2006-2007 гг. уровень воды в районе г. Добрянки держался на отметках: 28.09.2006 – 107,12 м абс.; 13.03.2007 – 104,3 м. абс.; 16.05.2007

– 108,55 м абс.; 21.08.2007 – 108,35 м абс. В верхнем бьефе Камской ГЭС уровень воды был примерно таким же, лишь в период зимней сработки 2007 г. он был на 0,2 м ниже, чем у Добрянки. Приведенные величины уровней воды в исследуемом районе хорошо вписывается в общий характер изменения уровней воды на участке Добрянка – КамГЭС в многолетнем аспекте. Это свидетельствует о правильности выбора периодов проведения полевых работ, которые приурочены к основным фазам водного режима исследуемого водоема.

Скоростной режим

Скоростной режим в многолетнем аспекте. На рассматриваемом участке водохранилища имеют место все виды течений, свойственные большим водоемам: стоковые, ветровые, компенсационные и др. Наиболее распространены из них являются стоковые и дрейфовые. Первые характерны для всех участков водоема, в течение всего года, вторые – характерны для широких участков водохранилища.

Поскольку по особенностям морфометрии рассматриваемый участок является суженным – рассмотрим только стоковые течения, характерные для него.

Сегодня наиболее полно изучены суммарные течения, образующиеся в результате взаимодействия различных по происхождению видов течений, и стоковые течения, преобладающие в проточных водоемах.

Скорости суммарных течений изменяются в значительных пределах – почти от нуля (0-5 см/с) до 30-50 см/с и более, причем максимум наблюдается, как правило, в верхнем 5-метровом слое воды, а минимум – в придонных слоях.

Сильно меняется направление течений по сезонам года и по акватории водохранилищ (от 0 до 360°). Чаще всего сектор изменений направления суммарного течения не превышает 120–250°.

Скорость стоковых течений зависит от величины поступающего притока в водохранилище и его проточности. Проточность рассматриваемых водоемов значительна в течение всего года.

Направление стоковых течений в каждой конкретной точке водоема колеблется в небольших пределах (30–40°). Изменения направления течений по длине водоема весьма значительны, из-за извилистости долины р. Камы.

Скорости стоковых течений отличаются относительным постоянством (от 4–7 до 10–20 см/с). Максимальные их значения достигают 30–70 см/с. Эти течения прослеживаются, как правило, от поверхности до дна, причем максимум скорости приходится на 5–10 м (считая от поверхности воды), а минимум – на придонные слои.

Распределение скоростей течения по ширине водоемов зависит от положения его динамической оси, в основном совпадающей с бывшим руслом р. Камы, и от морфометрических особенностей ложа водохранилищ на различных их участках. Наибольшие скорости течения наблюдаются в русловой части водохранилищ, наименьшие – над затопленными поймами.

Особенно уменьшают скорость течения затопленные массивы леса и кустарников на участках бывшей поймы. Как уже отмечено выше, существенное влияние на распределение скоростей течения по акватории водоема оказывают форма, размеры, особенности строения его ложа.

Большую часть года в приплотинной зоне Камского водохранилища скорости течения несколько больше, чем в Чусовском и других заливах. Однако в начале весны наблюдается обратная картина вследствие более раннего прохождения половодья на реках Чусовой и Сылве (по сравнению со сроками начала половодья на р. Каме).

Помимо постоянных течений на изучаемом участке водохранилища наблюдаются различные временные течения. Основным фактором, вызывающим последние, является ветер. К временным течениям относятся ветровые, включающие в себя дрейфовые и компенсационные. В чистом виде они почти не встречаются, а представляют сложную комбинацию нескольких типов течений, степень выраженности каждого из которых различается в зависимости от конкретных условий.

Дрейфовые течения, развитие которых определяется скоростью, направлением и продолжительностью воздействия ветра на водную поверхность, отмечаются преимущественно в зонах постоянного подпора. При длительных сильных ветрах одного направления такие течения можно наблюдать почти на всех участках водохранилища. В чистом виде дрейфовые течения возникают лишь при отсутствии стоковых. При наличии последних оба вида течений накладываются друг на друга, и подразделить их бывает трудно.

Ветер, если его направление совпадает с направлением стокового течения, увеличивает его скорость. Максимальные значения скоростей течения при ветре 7–8 м/с, по данным многолетних наблюдений, обычно составляют 10–12 см/с, и только при очень сильных и длительных ветрах, совпадающих по направлению со стоковым течением, увеличение скоростей за счет дрейфового течения может превышать 15–20 см/с. Ветер, дующий под углом к основному потоку, изменяет направление поверхностного течения. Глубина, на которой сказывается влияние ветра, зависит от силы ветра и его продолжительности, скорости основного течения, а также от морфометрии участка водохранилища. Обычно она не превышает нескольких метров.

Режим течений в современных условиях. Режим скоростей течения в многолетнем аспекте представлен по материалам ГУ «Пермский ЦГМС» за период с 1956 по 1987 г. К сожалению, в последние годы такие материалы отсутствуют, поскольку наблюдения за скоростями и направлениями течения не только на участке Добрянка-КамГЭС, но и в целом по водохранилищам Камского каскада не проводятся.

Режим скоростей течения на исследуемом участке представлен по периодам (фазам), соответствующим времени отбора проб воды и данных отложений на химический анализ, а также проведения термических съемок. Такими периодами в 2007 г. были фаза зимней сработки водохранилища (март), фаза весеннего наполнения водоема (май) и фаза летне-осенней

стабилизации уровня воды (август). Скорости течения были определены в районе г. Добрянки и в непосредственной близости от Камской ГЭС.

Фаза зимней сработки водохранилища характеризуется однонаправленным течением в сторону КамГЭС. При этом скорости течения в районе Добрянки были 0,08-0,09 м/с, в районе Камской ГЭС они были несколько меньше – 0,04-0,05 м/с.

Во время весеннего наполнения водохранилища отмечались максимальные в году скорости течения, что находится в полном соответствии с годовым ходом внешнего водообмена и проточности.

В мае 2007 г. скорость течения в районе Добрянки была в пределах: 0,21-0,23 м/с; у Камской ГЭС – 0,11-0,14 м/с.

В фазу летне-осенней стабилизации уровня воды в водоеме скорости течения на рассматриваемом участке были заметно ниже, чем весной и несколько ниже, чем в период зимней сработки водохранилища. В районе г. Добрянки скорость течения в августе 2007 г. изменялась от 0,06 до 0,08 м/с; у плотины ГЭС – от 0,02 до 0,04 м/с.

Сравнение скоростей течения в различные фазы водного режима водохранилища в 2007 г. и за многолетние свидетельствует, что материалы по режиму скоростей течения в период наших исследований близки к среднемноголетним характеристикам. Максимальные по сечению скорости течения отмечались в районах расположения старого русла р. Камы. На затопленных же элементах рельефа поймы они заметно меньше (в 1,5-2,0 раза).

Внешний водообмен и проточность

Внешний водообмен и проточность в многолетнем аспекте. Интенсивность водообмена является важнейшей характеристикой экосистемы водного объекта, в том числе и искусственных водоемов, каковыми являются водохранилища. По мнению многих исследователей, *водообмен* представляет собой сочетание многообразных динамических процессов, одновременно протекающих в водоеме под действием различных внешних сил, ее вязкости и инерции. В настоящее время принято делить водообмен на *внешний* и *внутренний*. *Внешний водообмен* понимается как замена вод, находящихся в водоеме, новыми водами, поступившими извне. При *внутреннем водообмене* происходит перемещение и смешение водных масс в самом водоеме.

При оценке интенсивности внешнего водообмена морфометрических участков использован показатель $D_{уч}$, представляющий отношение стока с каждого конкретного участка водоема ($W_{ст.уч}$) к его объему ($V_{уч}$):

$$D_{уч} = W_{ст.уч} / V_{уч}$$

Анализ расчетов показателя водообмена по приведенной формуле за многолетний период по Камскому водохранилищу показал, что во внутригодовом ходе внешний водообмен имеет три фазы:

- весеннее наполнение с максимальными величинами водообмена (V-VI),

- летне-осенний период (VII-X),
- зимняя сработка водоема (XI-IV).

Для изучаемого района исследований рассматриваются 2 участка: 8 – Слудка-Добрянка и 9 – Добрянка-КамГЭС. Эти участки совпадают с морфометрическим делением водохранилища. Водообмен отличается по морфометрическим участкам и по различным годам водности (рис.1).

Д_{уч}

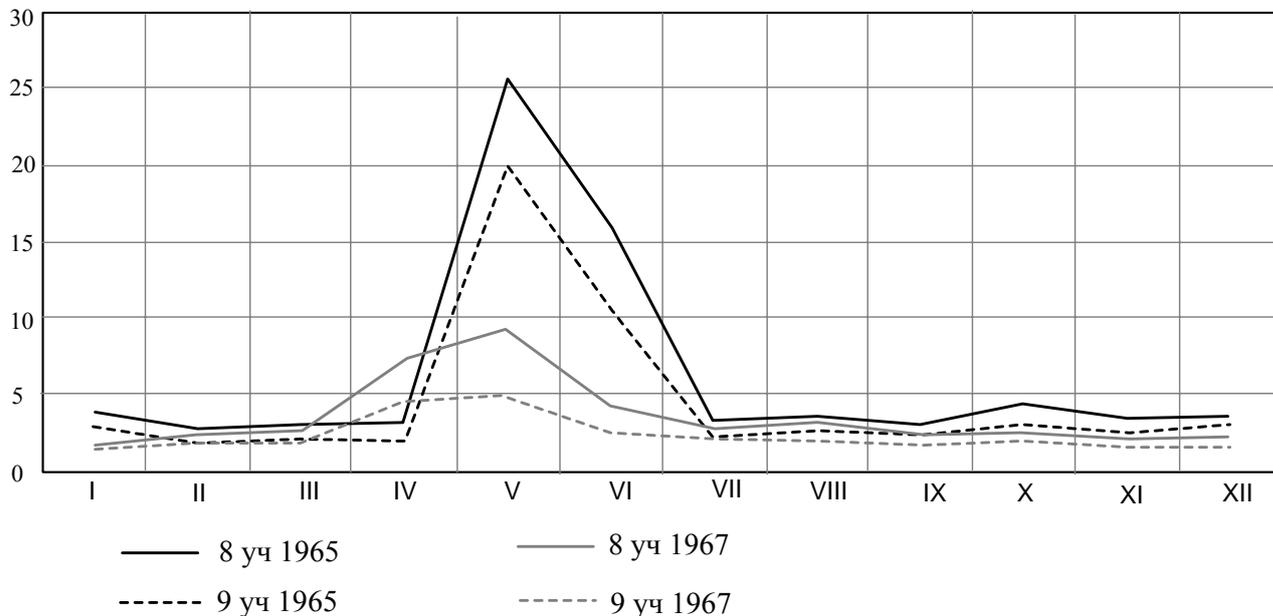


Рис.1. Кривые водообмена за многоводный (1965) и маловодный (1967) годы на участках Камского водохранилища

Для 8-го участка в многоводный (1965) год наибольший водообмен характерен для мая месяца и составляет 25,5; для 9-го участка эта характеристика равна 19,6. Уменьшение водообмена от 8-го участка к 9-му связано с увеличением объемов водной массы. В маловодный (1967) год значения водообмена соответственно для участков составили 9,24 и 4,91 доли, т.е. почти в 3 раза меньше относительно 1965 г. В конце периода наполнения водохранилища до уровня НПГ (июнь) значения водообмена снижаются примерно до 50% майских коэффициентов, что связано с увеличением запасов воды, а также снижением объемов сброса через агрегаты ГЭС.

Для летне-осеннего периода характерно уменьшение как водной массы водохранилища, так и стока из него; соответственно для этого периода в 1967 году наибольший водообмен отмечен в октябре и составил 4,33 и 3,01 для 8-го и 9-го участков. Увеличение характеристики связано с уменьшением испарения с водного зеркала, а также увеличением доли осадков в питании водоема. Минимальные значения водообмена в 1967 г. этого периода наблюдались в сентябре и составили 3,00 для 8-го участка и 2,18 – для 9-го участка. В маловодный год максимум наблюдался в августе и составил 3,34 и 2,14 для участков. Минимальные значения для 8-го участка относятся к октябрю (2,38), а для 9-го участка – к сентябрю (1,82).

Водообмен в период зимней сработки незначительно отличается от фазы летне-осенней стабилизации уровня воды, хотя и наблюдается тенденция к снижению. В 1965 году минимальный водообмен составил 2,71 в феврале на 8-м участке и 1,79 в апреле – на 9-м. В 1967 году соответственно эти значения относятся к январю – 1,92 и 1,49 доли.

Коэффициент внешнего водообмена для всех участков в любую фазу водного режима больше 1,0, что говорит о большом обмене водных масс. Так как сток воды из участков больше содержащейся в ней воды, поэтому можно говорить о высокой самоочищающей способности водохранилища и района г. Добрянка. Любые растворенные химические вещества должны интенсивно разбавляться и смешиваться с другими водами.

Интенсивность внутреннего водообмена может быть оценена по показателю *проточности*. Данная характеристика ($K_p = V_v/V_p$) представляет собой отношение скоростей проточного течения в условиях водохранилища и в условиях реки (на которой создан водоем) при одном и том же расходе воды, т.е. показывает соответствие скоростного режима искусственного водоема к бытовым условиям.

Внутригодовой ход коэффициента проточности (K_p) на Камском водохранилище аналогичен годовому ходу других важнейших гидродинамических характеристик водоема. Максимальная проточность отмечается в апреле-мае (рис.2).

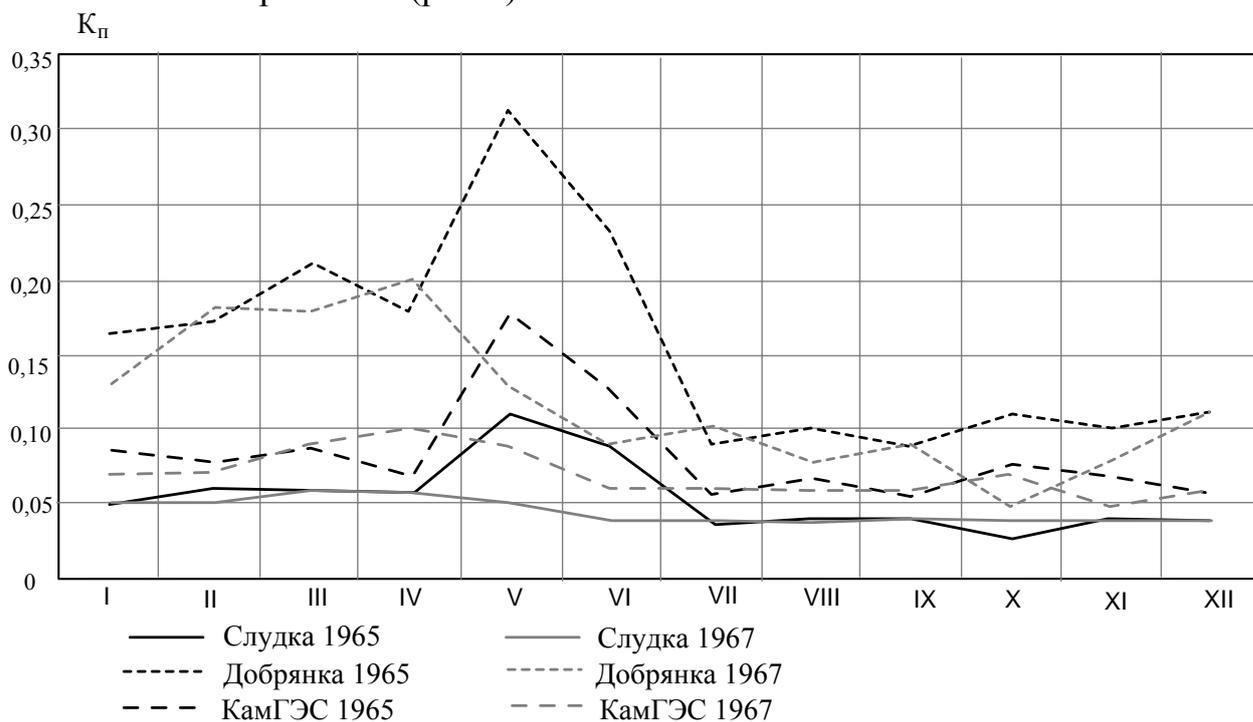


Рис.2. Кривые проточности за многоводный (1965) и маловодный (1967) годы на створах Камского водохранилища

Она характерна для периода конца зимней сработки и начала интенсивного наполнения водоема. После полного наполнения водохранилища проточность существенно снижается и в течение всего летне-осеннего периода она заметно ниже, чем в весенний период. Некоторый рост

проточности происходит во время осенних дождевых паводков. Значения коэффициентов $K_{\text{п}}$ в зимний период на границах всех морфометрических участков водохранилища в различные по водности годы несколько выше, чем летом. Годовой ход проточности на различных участках водоема аналогичен, амплитуда же колебаний коэффициента $K_{\text{п}}$ не одинакова. Максимальна она в верхних частях водоема, в центральных и нижних районах она заметно меньше.

В многолетнем разрезе отмечается зависимость проточности водохранилища и его отдельных частей от водности лет. Максимальные ее величины характерны для многоводных лет, минимальные – для маловодных. Влияние водности обнаруживается в весенний период, в другое время оно почти полностью отсутствует.

Коэффициент проточности в отличие от внешнего водообмена ($D_{\text{уч}}$) рассматривается не по участкам, где участвуют объемы воды, а по самим створам (разрезам), на которых расположены посты наблюдений. Для характеристики изучаемого района было выбрано 3 створа – Слудка, Добрянка и КамГЭС. В этих створах для лет различной водности (1965 и 1967) были определены значения коэффициента проточности. При рассмотрении кривых видно, что отличие коэффициентов по годам различной водности наблюдается для створов лишь в период весеннего наполнения (для створа Добрянка в 1965 году значения в мае и июне составили 0,31 и 0,23 при 0,13 и 0,09 в 1967 г. соответственно). В остальные периоды года значения очень близки и практически повторяются.

Из всех трех створов для г. Добрянки отмечается уменьшение морфометрических характеристик, что приводит к большей близости к речным условиям относительно других. На рисунке отчетливо прослеживается значительная разница в значениях $K_{\text{п}}$. Створ Добрянка отличается большей проточностью во все фазы водного режима. В 1965 году в период весеннего наполнения (V, VI) коэффициент от Слудки через Добрянку до КамГЭС составил 0,11, 0,31 и 0,18 в мае и 0,09, 0,23, 0,13 в июне соответственно. В год малой водности эти значения уменьшились почти в два раза и составили 0,05, 0,13, 0,09 и 0,04, 0,09, 0,06. В период наполнения проточность как и водообмен имеет наибольшие значения. В остальные периоды значения проточности колеблются в пределах 0,03-0,06 для Слудки, 0,05-0,21 для Добрянки и 0,05-0,10 для КамГЭС.

Высокие значения водообмена (более 1,0) и проточности для района г. Добрянка свидетельствуют о высокой самоочищающей способности и интенсивном обмене водных масс в течение всех месяцев для лет различной водности. Водообмен характеризует замену воды новой, пришедшей из вне (верхних участков), а проточность некоторое сходство с речными условиями (турбулентное движение и перемешивание струй по глубине, ширине и длине участка соответственно).

Обмен вод в современных условиях. Годы последнего пятилетия не отличаются высокой водностью, и если оценивать их в общем ряду лет различной водности, то 2006 и 2007 гг. следует рассматривать как годы

средней водности. Поскольку 2007 г. еще не закончился, то оценка обмена вод в современных условиях дана по материалам 2006 г. При этом следует иметь в виду, что картина изменения внешнего водообмена в 2007 г. будет практический той же, что и в 2006 г.

Как в многолетнем аспекте в 2006 г. внутригодовой ход внешнего водообмена характеризуется наличием трех основных фаз: весеннее наполнение водоема с максимальными величинами обмена вод (IV-V), период летне-осенней стабилизации уровня воды (VI-X) и зимняя сработка водоема (XI-III) (рис.3).

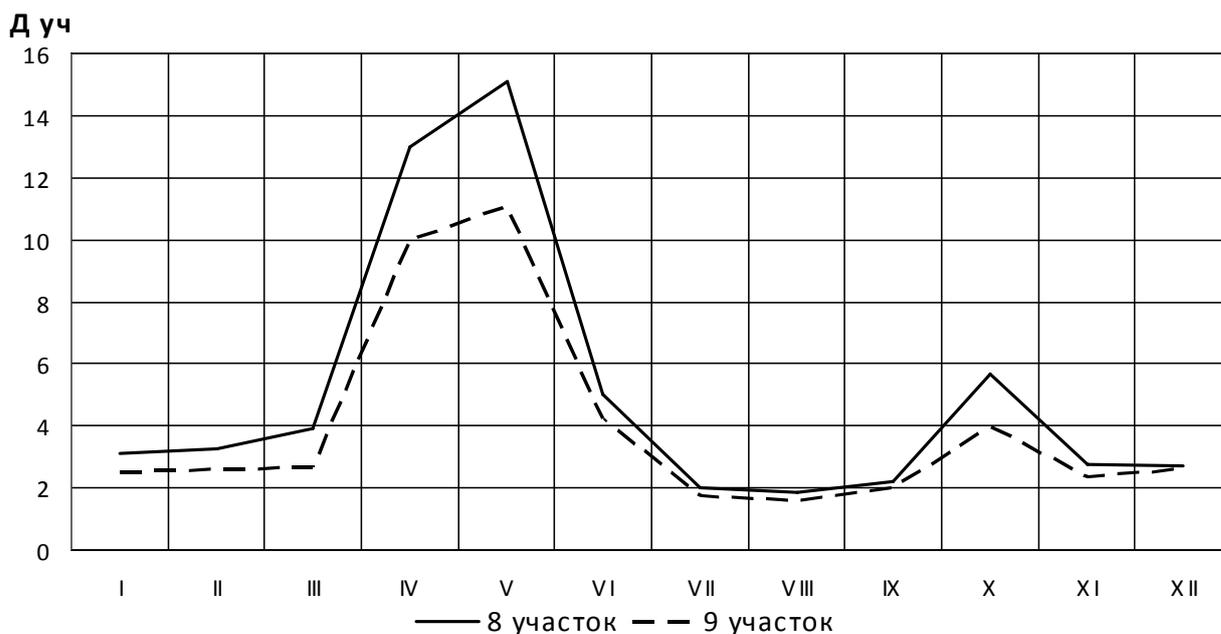


Рис.3. Внутригодовой ход коэффициента внешнего водообмена (2006 г.)

Время наступления отмеченных фаз водного режима водохранилища на 8-м и 9-м участках водохранилища в 2006 г. несколько отличалось от многолетнего хода. Период весеннего наполнения водоема охватывал IV и V месяцы, т. е. наполнение водоема было более ранним, чем в многолетнем аспекте. Продолжительность двух других фаз режима была практически той же.

Для 8-го (Слудка-Добрянка) и 9-го (Добрянка-КамГЭС) участков максимальный водообмен в 2006 г. был отмечен в мае и составил 15,1 и 11,1. Следует иметь в виду, что он был достаточно велик и в апреле - 13,0 и 10,0, что связано с ранним наполнением водоема и достаточно длительным временным периодом. В многолетнем аспекте приведенные величины обмена вод в фазу весеннего наполнения водохранилища занимают средние положения между максимальным по водности годом и маловодным годом. Так, в 1965 г. обмен вод в мае составил на участке Добрянка-КамГЭС 19,6; в 2006 г. – 11,1, а в 1967 г. – 4,9. Для летне-осеннего периода характерно заметное снижение интенсивности обмена вод как в целом по всему водохранилищу, так и на исследуемом участке. Внешний водообмен в эту

фазу режима изменялся на участке Добрянка-КамГЭС от 1,60 до 4,23, что примерно аналогично многолетним характеристикам.

Во время зимней сработки водохранилища внешний водообмен был примерно таким же, что и в фазу летне-осенней стабилизации уровня и изменялся от 2,34 до 2,68. Приведенные значения обмена вод примерно соответствуют среднемноголетним значениям.

Таким образом, внешний водообмен на участке Добрянка-КамГЭС во время весеннего наполнения водоема в 2006 г. равен 11,1, что соответствует его среднему положению в многолетнем аспекте для этой фазы режима; период летне-осенней стабилизации уровня воды и зимней сработки водоема характеризуется обменом вод близким к его среднемноголетним величинам. Обмен вод в 2006 г. был достаточно высоким во все фазы водного режима, что свидетельствует о возможности интенсивного разбавления и смешения водных масс, т. е. самоочищающая способность водоема достаточно высока.

Коэффициент проточности (K_n), как и в многолетнем аспекте, в 2006 г. рассмотрен по 3 створам: Слудка, Добрянка, КамГЭС. Максимальная проточность во все фазы водного режима, как и в многолетнем аспекте, отмечена в районе г.Добрянки. Максимальные в году величины проточности по всем створам отмечены в период весеннего наполнения водоема: 0,09; 0,29 и 0,16 соответственно (рис. 4).

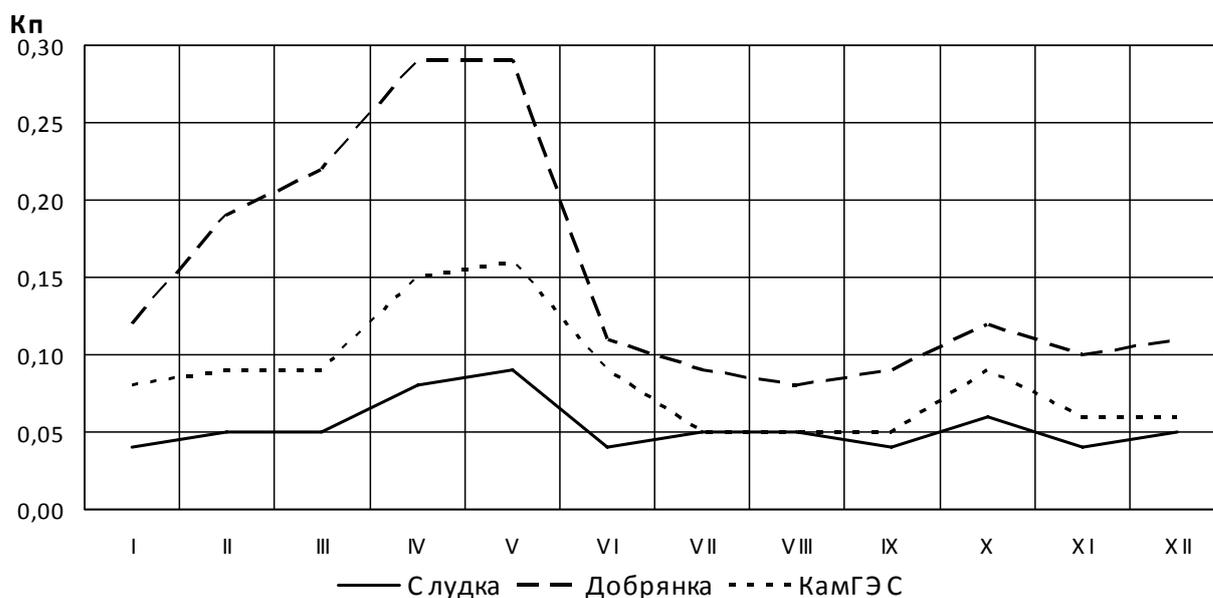


Рис.4. Внутригодовой ход коэффициента проточности (2006 г.)

Проточность в фазу наполнения водоема в 2006 г. занимает среднее положение между многоводным и маловодным годами, хотя в створе г. Добрянки она более близка к многоводному году (0,31 – многоводный год; 0,29 – 2006 г. и 0,20 – маловодный). В летне-осенний период 2006 г. проточность изменялась от 0,08 до 0,12; во время зимней сработки – от 0,10 до 0,19, что соответствует среднемноголетним величинам.

Таким образом, величины проточности в районе Добрянки в 2006 г. были достаточно высокими, что подтверждает вывод о хорошем обмене вод в

исследуемом районе и, соответственно, о хорошей самоочищающей способности водоема.

Ветровое волнение

Основной фактор, определяющий параметры волн, - продолжительность и скорость ветра. По данным наблюдений за период с 1959 по 1979 г. в районе Добрянки продолжительность скорости штормовых ветров, вызывающих значительное волнение (более 10 м/с), составляет около 20 % (табл. 2). Однако, не смотря на довольно значительную повторяемость штормовых высот волн, ветровое волнение выражено слабо из-за экранирующего влияния залесенных берегов, подступающих к урезу воды. Благодаря этому на отдельных участках ветровая тень может составлять 2/3 ширины водоема. Здесь при одних и тех же ветровых условиях высота волны в среднем на 0,50-0,80 м ниже, чем в центральном районе. При наиболее часто повторяющихся в навигацию ветрах южного и юго-западного направлений при скорости ветра 7 м/с высота волны не превышает 0,50 м, при 11 м/с увеличивается до 0,85 м, при 17 м/с достигает 1,30 м. При редкой повторяемости ветров северо-западных направлений со скоростью 16 м/с в районе г.Добрянки формируются волны высотой до 1,80 м.

Таблица 2

Среднегодовья продолжительность штормовых ветров по месяцам (%)

Продолжительность, ч	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	Сумма
1 - 6	42,6	47,6	66,7	61,3	39,4	42,1	48,1
6-12	36,2	31,3	20,9	35,5	34,2	26,3	31,7
12-18	12,7	12,5	12,5	—	13,2	18,4	11,9
18-24	6,4	8,3	—	—	13,2	13,2	7,5
Более 24	2,1	—	—	2,1	—	—	0,8
Итого	100	100	100	100	100	100	100

При подходе к берегу волны трансформируются и по данным волномерного пункта, расположенного в прибрежной зоне, высота волн за период 1956-1967 гг. не превысила 1 м.

В распределении высот волн наблюдается большая пестрота, обусловленная прежде всего извилистостью акватории (табл. 3). Наименьшее количество случаев со штилем отмечается в августе. Большую часть месяца в октябре регистрируются волны высотой до 0,50 м, а наиболее сильные штормы (высота волны – 1 м и более) характерны для августа.

Внутри суток усиление волнения обычно происходит в дневные часы, особенно во второй половине дня. Ночью, как правило, волнение ослабевает и в предутренние часы наступает затишье.

Таблица 3

Повторяемость высот волн по посту Добрянка (%)

Месяц	Высота волны, м			
	штиль	до 0,45 м	0,50-0,70 м	0,75-1,00 м
Июль	30,6	67,7	1,7	
Август	25,3	68,3	9,5	0,5
Сентябрь	27,2	67,8	5,0	
Октябрь	-	85,5	14,5	
Июль-октябрь	23,8	70,4	5,7	0,1

Волны, имеющие среднюю высоту в пределах от 0,4 до 0,6 м, имеют среднюю повторяемость от 20 до 40 % (рис. 5), такие волны практически не могут нанести вреда. Далее идут более высокие волны (высоты колеблются от 0,6 и 0,8 м), у них продолжительность ниже (от 10 до 20 %), такие волны уже могут нанести ущерб, но незначительный. И волны с высотами от 0,8 до 1,2 м, с повторяемостью менее 4%, такие волны могут нанести огромный ущерб.



Рис. 5. Повторяемость высот волн

На территории Добрянки прослеживается волновая зависимость высоты волны от повторяемости: чем больше высота волны, тем меньше ее повторяемость и наоборот.

Как указывалось выше, в настоящее время наблюдения за развитием ветрового волнения в пределах изучаемой территории не проводятся. В связи с чем нами проведен расчет волн по методу А.П. Браславского.

Результаты расчетов высот волн по ряду методов (табл. 4) показывают, что метод А.П. Браславского (1966г.), основанный на уравнении баланса

волновой энергии В.М. Маккавеева, дает удовлетворительные результаты для Добрянки, в районе которой глубина водоема изменяется от 5 до 17 м: максимальная ошибка – 18,9% (обеспеченность – 22%), средняя ошибка – 10,61% (обеспеченность – 55%), средняя погрешность при натурных замерах по волномерной вехе составляет 10-20%.

Таблица 4

Средние ошибки расчета высот волн (числитель) и их обеспеченность (знаменатель) (%)

Пункт наблюдений	По данным				
	А.П. Браславского	Г.Г. Карасевой	Н.А. Лабзовского	В.Г. Андреянова	Е.А. Дьяковой
Добрянка	10,6 /55	-15,0/22	20,2/22	13,3/12	10,8/18,9

Точность расчета повышается при увеличении скорости ветра, что особенно важно, так как в практических целях необходимо знать высоту волны при штормовых ветрах. Для зоны с глубинами $H < 5$ м и $H > 17$ м разница между расчетной и фактической высотами волн достигает 25-30%.

В первом случае причина, вероятно, кроется в том, что при расчетах А.П. Браславский принял коэффициент фильтрации для илистых и глинистых грунтов, равным нулю. Отсюда вытекает, что потери волновой энергии в грунтах дна также равны нулю, в то время как при малых глубинах эти потери довольно значительны. Поэтому высота волн в Добрянке завышена. Во втором случае высоты волн несколько занижены, что, очевидно, объясняется как неучетом времени действия ветра на водную поверхность, так и неучетом всего спектра волн.

Наибольшие высоты волн 1 % обеспеченности наблюдаются при скорости ветра 20 м/с: при СЗ направлении ветра (0,7 м) от Пермской ГРЭС и до конца исследуемого участка; при СВ ветре (высота волны 1,1-1,2 м) - от впадения р. Ломоватовка и до конца исследуемого участка; при ЮВ изолиния с высотой 1,7 м проходит практически по середине изучаемого участка и при приближении к правому берегу высота волны уменьшается до 1,1 и 1,4 м; при направлении ветра с запада на восток максимальная высота волны 1,3-1,5 м наблюдается начиная от Добрянского залива и до конца изучаемого участка.

Ветровое волнение играет значительную роль в функционировании экосистемы Камского водохранилища. Оно является одним из основных факторов, определяющих переработку берегов. Особенно сильно разрушительное действие ветрового волнения наблюдается у крутых коренных берегов, расположенных непосредственно в районе наших исследований вблизи Добрянской ГРЭС. Берег здесь сложен суглинками. Разрушение берега проявляется в образовании осыпей и обвалов горных пород. Скорость переработки достигает до 2 м в год.

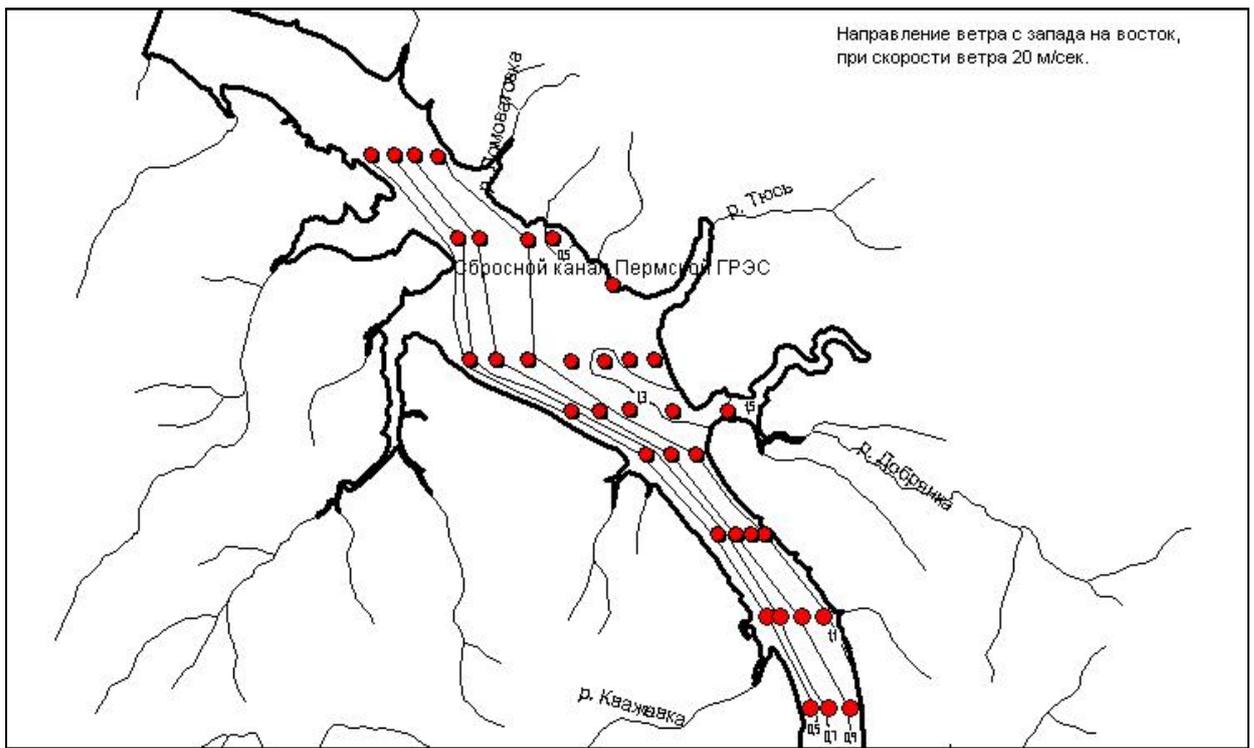
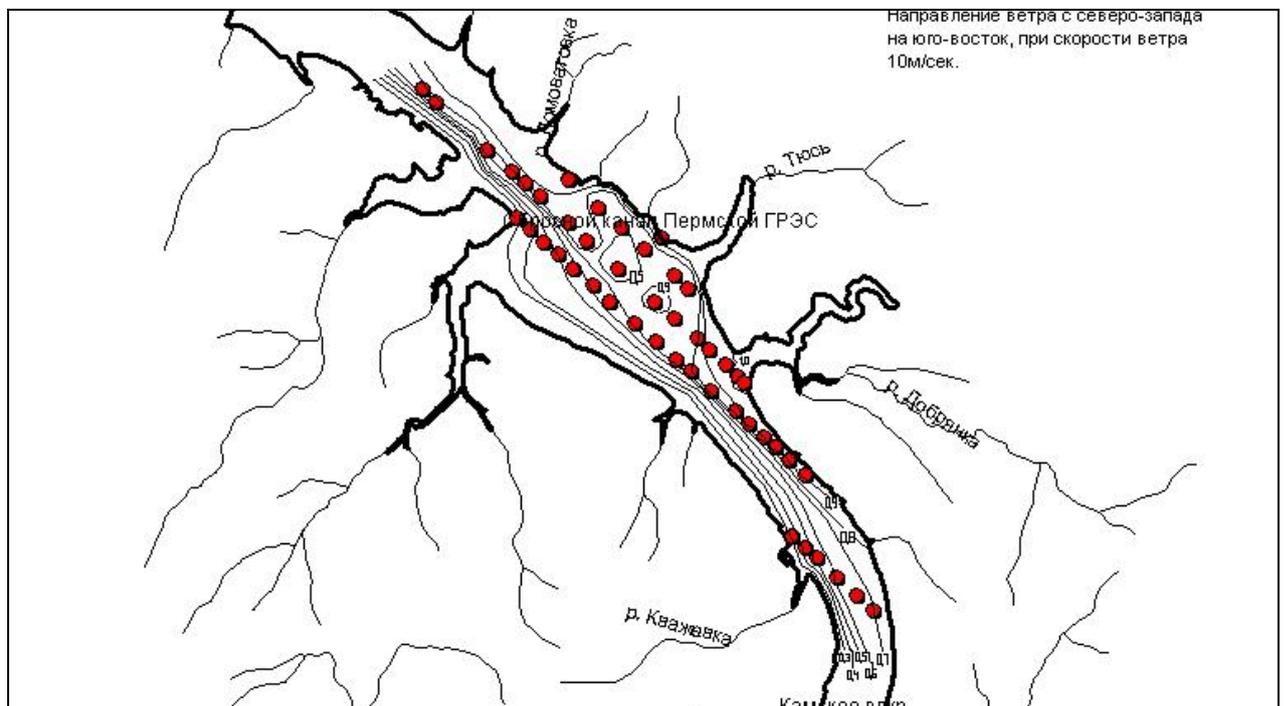
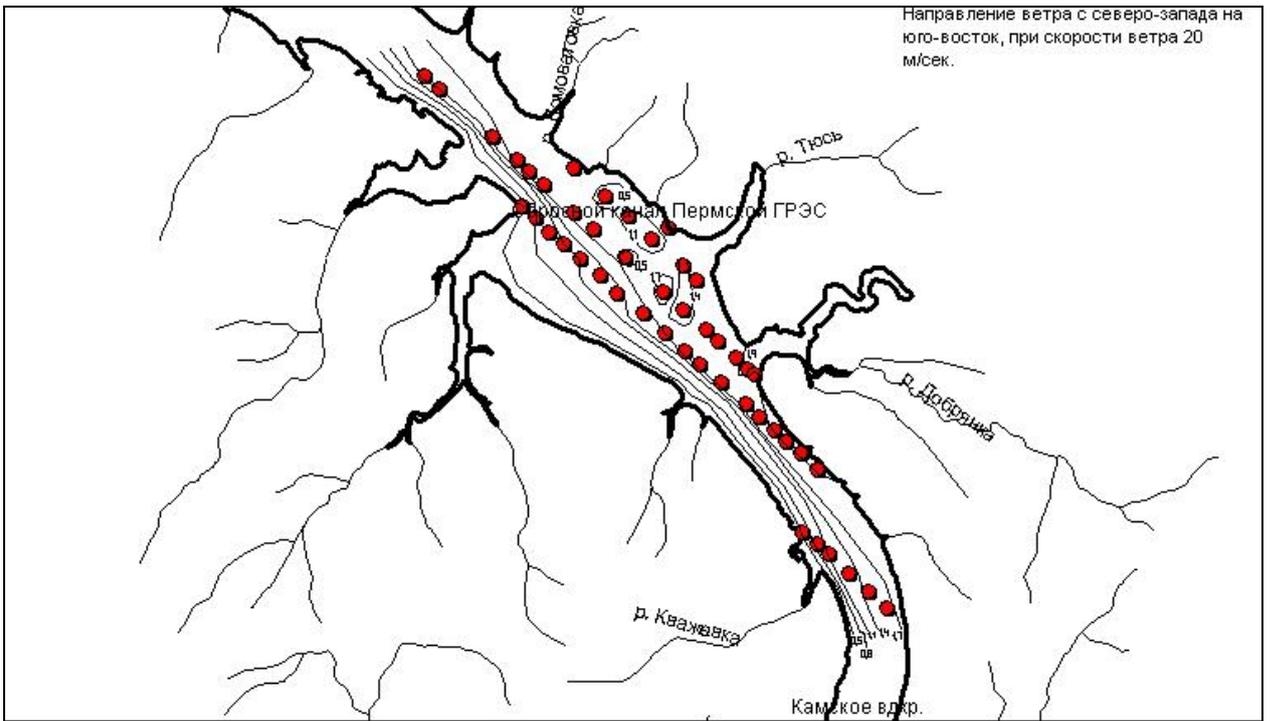
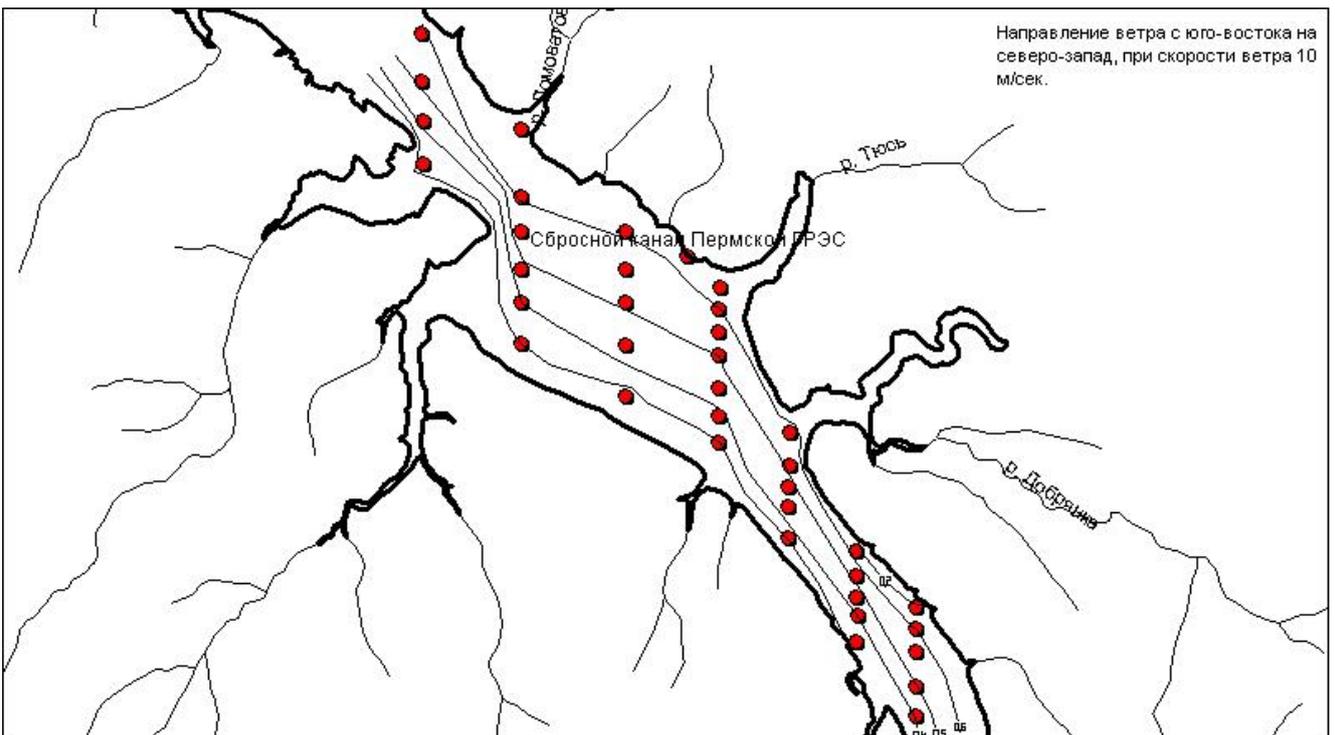


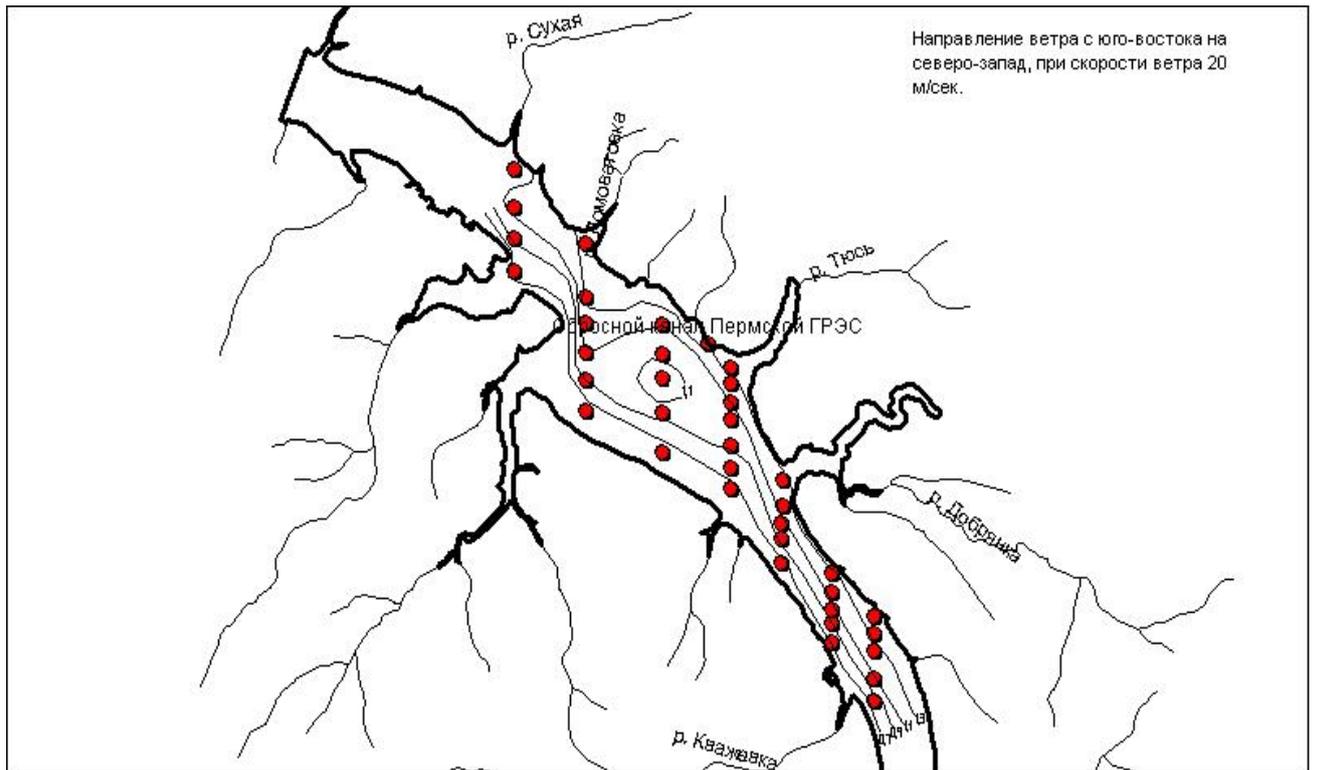
Рис.6. Картограммы ветрового волнения



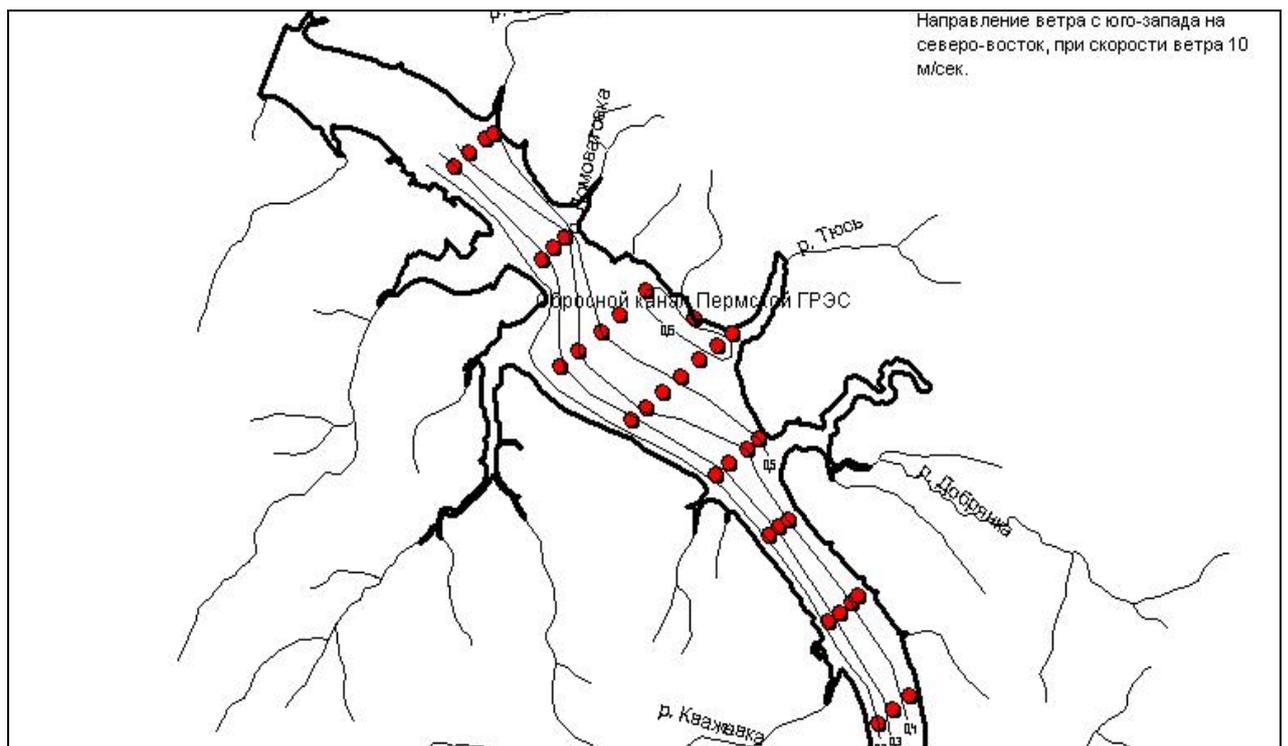


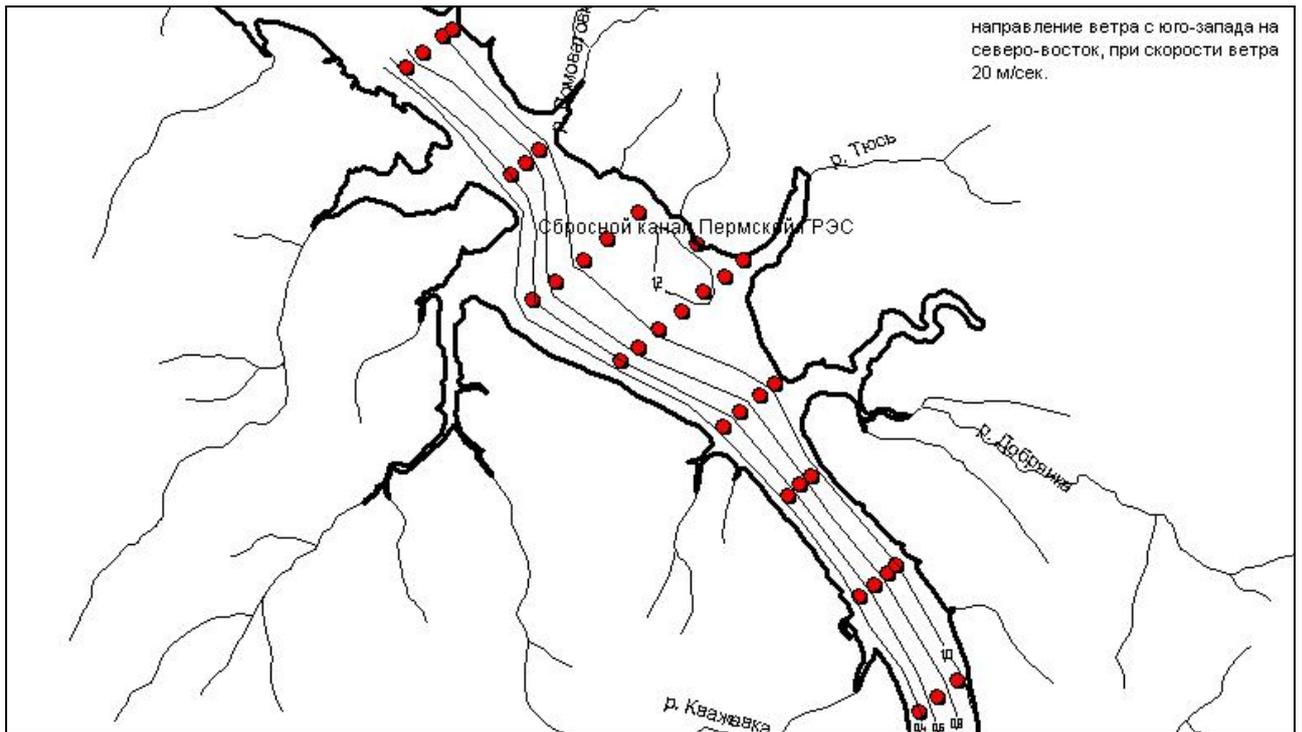
Продолжение рис.6





Продолжение рис.6





Продолжение рис.6

Выводы

1. Высокий подъем уровня воды в водохранилище создает реальную опасность активизации процесса переработки берегов водоема.

Минимальные уровни воды, наблюдаемые в фазу зимней сработки водоема, большой роли в формировании условий возникновения экологического риска в приплотинной части водоема (Добрянка-КамГЭС) по сравнению с верхней и центральной частями водохранилища не играют.

Приведенные величины уровней воды в исследуемом районе хорошо вписывается в общий характер изменения уровней воды на участке Добрянка – КамГЭС в многолетнем аспекте. Это свидетельствует о правильности выбора периодов проведения полевых работ, которые приурочены к основным фазам водного режима исследуемого водоема.

2. Сравнение скоростей течения в различные фазы водного режима водохранилища в 2007 г. и за многолетние свидетельствует, что материалы по режиму скоростей течения в период наших исследований близки к среднемноголетним характеристикам. Максимальные по сечению скорости течения отмечались в районах расположения старого русла р. Камы. На затопленных же элементах рельефа поймы они заметно меньше (в 1,5-2,0 раза).

3. Высокие значения водообмена (более 1,0) и проточности для района г. Добрянка свидетельствуют о высокой самоочищающей способности и

интенсивном обмене водных масс в течение всех месяцев для лет различной водности.

4. Ветровое волнение играет как положительную роль (усиливает процессы самоочищения водоема, особенно в осенний период, и способствует динамическому перемешиванию в период осенней и весенней конвекции, когда устойчивость слоев незначительна, в результате чего уменьшается интенсивность теплового загрязнения), так и отрицательную (способствует развитию ветро-волновой абразии берегов).

Таким образом, характеристики гидродинамического режима в районе Добрянки в период исследований достигали достаточно высоких величин, что свидетельствует о хорошем обмене вод и, соответственно, о хорошей самоочищающей способности водоема.