природные процессы и динамика геосистем ===

УДК 556.555.3, 556.555.5

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗИМНЕГО РЕЖИМА РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

© 2012 г. В.Г. Калинин

Пермский государственный университет Поступила в редакцию 16.04. 2010 г.

Выявлены закономерности формирования зимнего режима водохранилищ в зависимости от природных и антропогенных факторов. Показана правомерность и необходимость совместного исследования водного и ледового режимов, поскольку это дает возможность глубже понять особенности их проявления в разных частях водохранилищ.

Введение. Исследование формирования зимнего режима водохранилищ под влиянием зональных климатических и местных физико-географических условий, особенностей формы ложа, а также антропогенных факторов крайне необходимо для получения более надежных данных для обеспечения эксплуатации водного транспорта, водоснабжения, энергетики, рыбного хозяйства, организации ледовых переправ и безопасности при выполнении этих работ и др. Кроме того, большинство водных объектов России расположено в условиях умеренного или континентального климата с длительным (6 месяцев и более) периодом отрицательной температуры воздуха, что усложняет их режим и использование. Поэтому выявление закономерностей формирования зимнего режима на водохранилищах имеет большое значение для планирования и наиболее рациональной организации работы предприятий многих отраслей экономики.

Анализ многочисленных публикаций показал, что обобщающих работ по зимнему режиму водохранилищ практически нет, а основные составляющие зимнего режима (водный и ледовый) рассматриваются обычно раздельно. Кроме того, недостаточно изучена пространственно-временная изменчивость формирования зимнего режима в разных районах и участках водохранилищ, различающихся своими морфологическими особенностями. Не проводилось исследований и типизации уровенного режима в зимний период, перемещения зоны переменного подпора, образования площадей обсыхания ледяного покрова, характера их изменения в разных частях водохранилища, а также влияние на них формы ложа.

Объекты исследования. Исследования выполнены на примере равнинных, сложных в морфологическом отношении, Камского и Воткинского водохранилищ (рис. 1): первое — с глубоким сезонным регулированием (зимняя сработка 7.5 м), второе — состыкованное с верхним и небольшой зимней сработкой (4.0 м). На этих водохранилищах наиболее ярко выражены различия процессов формирования их зимнего режима. Камское и Воткинское водохранилища — крупные долинные водоемы зоны умеренного климата, типичные для большей части территории России. Поэтому они выбраны в качестве географического объекта исследований.

Камское водохранилище на р. Каме – первое в Камском каскаде, с напором 22 м. Площадь при нормальном подпорном уровне (НПУ) составляет 1719 км², общий объем – 10.7 км³, полезный – 8.36 км³, средняя глубина 6.2 м, максимальная – 28.1 м. Воткинское водохранилище – второе в каскаде с напором 24 м. Площадь при НПУ составляет 1068 км², общий объем – 8.48 км³, полезный – 3.45 км³, средняя глубина 7.9 м, максимальная – 22.8 м (рис. 1).

Факторы формирования гидрологического режима. В зимний период гидрологический режим водохранилищ главным образом формируется климатическими процессами на какой-либо территории. Во-первых, это воздействие солнечной радиации, интенсивность которой определяет тепловые характеристики водоема; во-вторых, это увлажнение бассейна в осенний период, что в свою очередь влияет на режим приточности к водохранилищу с водосбора и расходования воды через ГЭС при антропогенном регулировании.

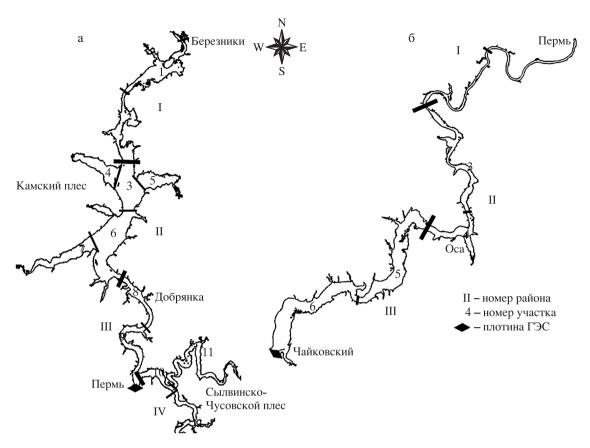


Рис. 1. Схема Камского (a), Воткинского (δ) водохранилищ и их морфологического районирования (по [8])

Водный и ледовый режимы определяют функционирование водохранилищ в зимний сезон, их гидрохимический, гидробиологический режимы и др. Они представляют собой сложную совокупность гидрофизических процессов, формирующихся под одновременным воздействием одних и тех же факторов, что дает возможность исследовать их как единое целое — зимний режим (рис. 2).

Из всего многообразия природных и антропогенных факторов, одновременно действующих на водный и ледовый режимы, следует выделить три основных, которые по степени важности располагаются в следующей последовательности: температура воздуха, режим притока воды и регулирования ее стока через ГЭС, особенности конфигурации и рельефа дна водохранилищ (рис. 2).

Под воздействием отрицательных температур воздуха часть воды расходуется на формирование сплошного ледяного покрова, что определяет сроки окончания и начала навигации, функционирование ледовых переправ. На водохранилищах с сезонным регулированием стока наступает фаза зимней сработки, из-за естественного уменьшения приточности и расходования воды для целей энергетики и водоснабжения.

Основным антропогенным фактором является режим регулирования стока водохранилищами, который определяет сроки, интенсивность и величину зимней сработки уровня воды в конкретном году.

В результате понижения уровня воды образуются значительные площади обсыхания ледяного покрова, отдельные замкнутые котловины — потенциальные заморные ямы, перемещается зона переменного подпора, изменяются конфигурация береговой линии и характеристики ложа участков водохранилищ (рис. 2). Понижение уровня воды приводит к появлению трещин в ледяном покрове, выходу воды на лед и образованию снежного льда в его структуре.

Особенности формы рельефа ложа водохранилищ оказывают влияние на размеры площадей обсыхания льда, сроки наступления ледовых фаз, интенсивность нарастания толщины льда и их пространственное распределение (рис. 2).

Процессы теплообмена, происходящие в водохранилищах в осенне-весенний и зимний периоды, формируются под воздействием гидрометеорологических условий (уровень и скорость течения воды, разница температуры воды и воздуха, скорость

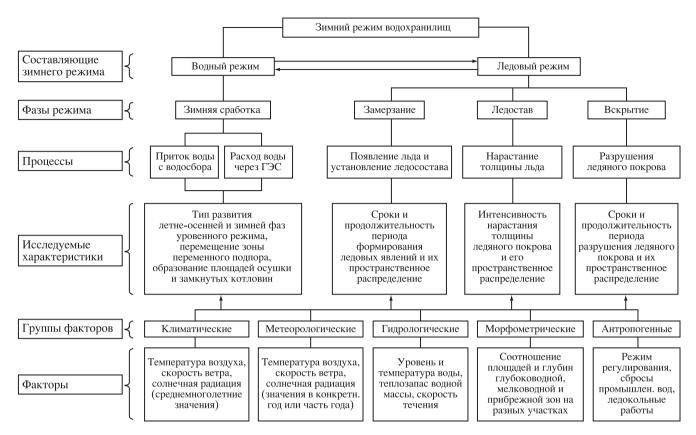


Рис. 2. Структурная схема исследования зимнего режима водохранилищ и определяющих его факторов

ветра, солнечная радиация) и антропогенных факторов (сбросы промышленных и подогретых вод, ледокольные работы).

Таким образом, зимний режим водохранилищ — это совокупность процессов формирования режима уровня воды (результирующей баланса притока воды с водосбора и ее расхода через ГЭС) и связанных с ним изменений морфометрических характеристик ложа на фоне возникновения, развития и разрушения ледяных образований под воздействием природных и антропогенных факторов в период с отрицательными температурами воздуха.

Типизация зимних гидрологических режимов. Рассмотрим некоторые особенности формирования зимнего режима водохранилищ подробнее.

С переходом температуры воздуха через 0 °С к отрицательным значениям реки полностью переходят на грунтовое питание, соответственно исключаются такие составляющие баланса, как осадки и испарение. На кривых истощения расходов воды на реках, питающих водохранилища, выделяются два периода: ноябрь—декабрь и январь—март (рис. 3a). При этом более интенсивное истощение стока характерно для первого периода.

Для сравнительного анализа кривые истощения расходов воды по замыкающим створам притоков Камского водохранилища были пересчитаны в относительные единицы: в долях от среднезимнего стока Q' и в модулях q, π/c км². В первом случае интенсивность истощения стока существенно выше на малых реках, где естественная зарегулированность стока меньше (рис. 3a). Во втором случае наблюдается четкое различие кривых между горными и равнинными реками. На горных реках (Вишера-Рябинино, Яйва-Усть-Игум, Язьва-Нижняя Язьва, Косьва-Останино, Чусовая-Лямино) значения модулей стока, равно как и интенсивность его истощения выше, что объясняется большим количеством выпадающих здесь осадков в осенний период, а также большей динамичностью грунтовых вод.

Расходные составляющие баланса камских водохранилищ представляют собой собственно расходы воды через ГЭС, величины которых определяются как природными, так и антропогенными факторами. На Камском водохранилище расход воды через ГЭС формируется за счет речного притока, доля которого в среднем за зимний период составляет 47%, и сработки водных масс из водохранилища – 53%. На Воткинском водохранилище

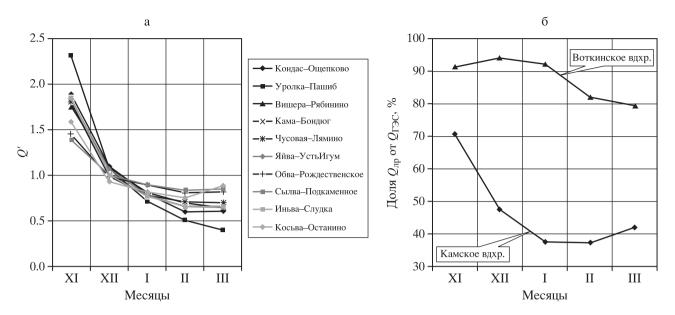
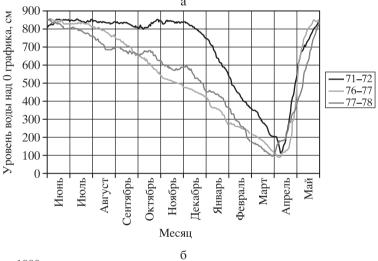


Рис. 3. Внутрисезонное изменение приходной и расходной составляющих водного баланса: a) стока рек — притоков Камского водохранилища в долях от среднезимнего стока Q'; δ) доли притока $Q_{\rm пp}$ к водохранилищу от расхода воды через ГЭС $Q_{\rm ГЭС}$, %

доля притока через Камскую ГЭС в течение зимнего сезона изменяется незначительно, составляя в среднем 88% от расхода через Воткинскую ГЭС (рис. 36). Эти значения хорошо согласуются с объемами зимней сработки. Так, на Камском водохранилище объем зимней сработки составляет в среднем 78% от общего объема водохранилища при НПУ, а на Воткинском – 41%, что почти в 2 раза меньше [6].

Интегральной характеристикой соотношения приходной и расходной составляющих водного баланса является ход уровня воды в водохранилище. Анализ ежегодного хода уровня воды за период с 1958 по 1984 гг. показал, что по характеру навигационной и зимней сработки, как на Камском, так и на Воткинском водохранилищах можно выделить три основных типа развития летне-осенней и зимней фаз уровенного режима:

1) стабильное стояние уровня, близкого к НПУ в летне-осенний период, с выраженным началом его зимнего понижения; 2) значительная (0.3–0.5 высоты призмы полезного объема) сработка в летне-осенний период с последующим четко выраженным началом интенсивной зимней сработки; 3) квазиравномерное понижение уровня воды от НПУ до ГС без разделения на фазы навигационной и зимней сработки (рис. 4).



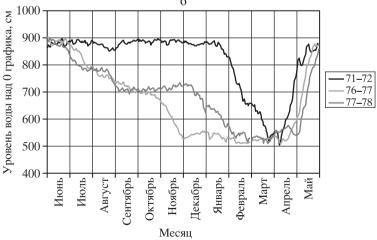


Рис. 4. Типизация летне-осенней и зимней фаз уровенного режима за характерные годы на Камском (a) и Воткинском (δ) водохранилищах

На обоих водохранилищах преобладающим является первый тип (Камское — 48%, Воткинское — 57%), однако на Воткинском его повторяемость на 9% выше за счет второго типа. Третий тип, как на Камском, так и на Воткинском водохранилищах встречается одинаково часто — в 19% рассмотренных лет [3].

Подобная типизация хода уровня воды в зимний сезон для равнинных водохранилищ с сезонным регулированием стока выполнена впервые. Ранее К.Н. Дьяконовым [2], а также Н.Б. Сорокиной и Ю.М. Матарзиным [9] типы уровенного режима выделялись только для навигационного периода Камского водохранилища.

Анализ характерных лет показал, что первый тип уровенного режима наблюдается в годы с повышенной водностью рек в летне-осенний период, вызванной дождевыми паводками, второй – в годы с низкой летней меженью и увеличением водности в сентябре—октябре, а третий – в годы с отсутствием дождевых паводков в летне-осенний период.

Рельеф дна и зимний гидрологический режим. Наличие фазы зимней сработки — характерная особенность большинства российских водохранилищ. В результате понижения уровня Камского водохранилища до горизонта сработки (на 7.5 м) в зависимости от характера рельефа дна доля покрытых льдом осушенных площадей на разных участках изменяется от 19 до 97%.

Анализ результатов пространственного моделирования процесса зимней сработки по участкам водохранилищ с применением ГИС-технологий показал, что соотношение площадей и интенсивность обсыхания льда существенно изменяются по длине водоемов. Так, на участках с сильно развитой прибрежной зоной интенсивное обсыхание происходит при понижении уровня на 0.5–2.5 м, тогда как на участках со средними глубинами 6–7 м и небольшой прибрежной зоной интенсивность увеличения обсыхающих площадей происходит при сработке водохранилищ на 5–7 м.

Основным фактором формирования зоны с осевшим на дно ледяным покровом при горизонте сработки является форма участков водохранилища, а именно, распределение площадей и глубин глубоководной, мелководной и прибрежной зон в пределах участков. Для количественной характеристики формы участков водохранилищ автором предложен морфометрический коэффициент $K_{\rm M}$:

$$K_{\rm M} = \frac{S_{\rm IIM}}{S_{\rm r}} \frac{h_{\rm IIM}}{h_{\rm r}} = \frac{V_{\rm IIM}}{V_{\rm r}} \tag{1}$$

где $S_{\rm nm}$, $S_{\rm r}$ — площади [м²]; $h_{\rm nm}$, $h_{\rm r}$ — средние глубины [м]; $V_{\rm nm}$, $V_{\rm r}$ — объемы [м³] (пм) — прибрежной и мелководной и (г) — глубоководной зон выделенного участка. С увеличением доли площади глубоководной зоны, равно как и с увеличением ее средней глубины, площадь обсыхания льда будет меньше и, наоборот.

Подтверждением сказанного является зависимость площадей обсыхания льда от морфометрического коэффициента (рис. 5*a*). При этом наметились группы точек, которые соответствуют качественно разным формам участков, где при прочих равных условиях гидрологические процессы также будут отличаться друг от друга.

Используя цифровую модель рельефа дна и предложенный коэффициент Км можно выполнять районирование водохранилища, т.е. выделять таксономические единицы с квазиоднородными морфометрическими условиями формирования элементов гидрологического режима. Одним из критериев районирования может служить отклонение точек от исследуемой зависимости. Рассмотрим использование этого методического подхода на примере участка 6, где наблюдается наибольшее отклонение от аппроксимирующей прямой.

Причиной такого отклонения точки может являться неоднородность участка, который существенно отличается от остальных, причем не только по форме, но и по размерам (рис. 1*a*). Он в 3 раза больше всех остальных по площади, в 1.4 раза по средней глубине и почти в 4 раза по объему. На основе анализа цифровой модели рельефа дна в пределах участка 6 были выделены три таксона: 6.1, 6.2, 6.3.

После разделения разброс точек исследуемой зависимости уменьшился (рис. 56). При этом если рассматривать только участки, расположенные по длине главного Камского плеса (рис. 1a), то теснота связи увеличивается (рис. 5a).

На Воткинском водохранилище, разделенном на 6 морфоучастков, эта зависимость полностью подтвердилась. При этом прямолинейный характер зависимости является одинаковым для разных водохранилищ, а различия в параметрах регрессионных уравнений, по-видимому, обусловлены морфологическими особенностями и относительной (в долях от максимальной глубины) величиной сработки [7].

Полученные результаты позволяют решать экологические задачи. Так, вследствие понижения уровня воды и характера рельефа дна образуются многочисленные замкнутые котловины (ямы), в которых возможно развитие заморных явлений, особенно при сплошном ледяном покрове. В ре-

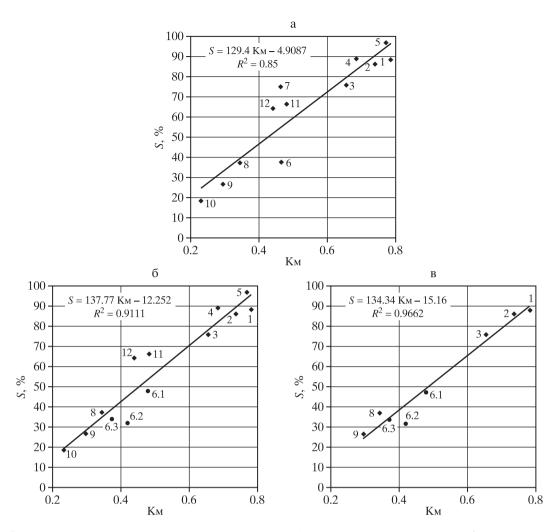


Рис. 5. Зависимость площадей осушки на разных участках Камского водохранилища от морфометрического коэффициента Км: a) все участки; b0 с разделением шестого участка на три составляющие; b0 участки только по длине камского плеса

зультате пространственного моделирования процесса зимней сработки на разных участках камских водохранилищ и применения ГИС-технологий определены места формирования замкнутых котловин и рассчитаны координаты, морфометрические характеристики, а также уровни воды, при которых они образовались [4]. Определение перечисленных показателей традиционными способами не представляется возможным.

Анализ этих данных показывает, что на Камском водохранилище масштабы рассматриваемых явлений достаточно велики (общее количество замкнутых котловин составляет 193 площадью 64 км²). Резкое увеличение числа котловин наблюдается в интервалах сработки 3.0–4.0 м и 4.5–5.5 м. Соответственно в этих же интервалах возрастают и суммарные значения их площадей и объемов, что соответствует первой надпойменной террасе и широкой пойме р. Камы и ее притоков.

Для условий Воткинского водохранилища эта проблема менее актуальна (общее количество замкнутых котловин составляет 24), что обусловлено небольшой величиной зимней сработки в связи с положением в каскаде и соответствующим режимом регулирования.

Особенности ледового режима. С переходом температуры воздуха через 0 °С к отрицательным значениям на водохранилищах начинаются процессы ледообразования. На рис. 6 отображена последовательность сроков появления устойчивых ледовых явлений в пределах акваторий камских водохранилищ. Карты получены по результатам математико-картографического моделирования на основе многолетних данных наблюдений на гидрологических постах и ледовых авиаразведок.

Согласно типизации Р.В. Донченко [1] камские водохранилища являются яркими примерами двух

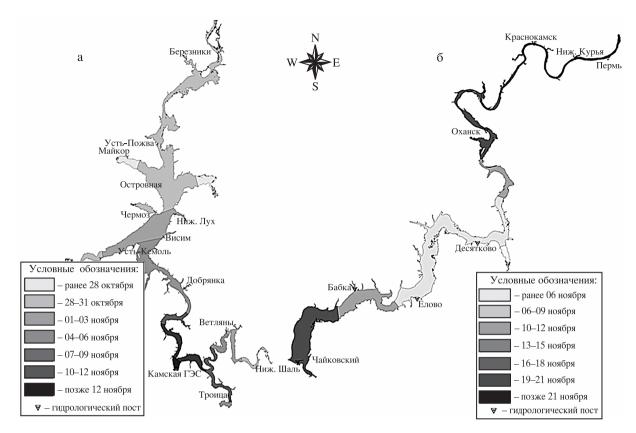


Рис. 6. Среднемноголетние (1956–1995 гг.) сроки появления устойчивых ледовых явлений на Камском (a) и Воткинском (δ) водохранилищах

разных типов последовательности процессов формирования ледяного покрова, что определяется морфометрическими особенностями отдельных участков и положением в каскаде: на Камском ледообразование начинается на верхнем участке, затем в центральной и приплотинной частях водоема, а на Воткинском — в центральной части и далее распространяется вверх и вниз по течению. Эта последовательность сохраняется и в аномальные годы, изменяется лишь продолжительность замерзания акваторий.

Для исследования возможности комплексного учета факторов в качестве зависимого параметра использована продолжительность периодов от даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °C к отрицательным значениям до дат появления ледовых явлений ($T_{\rm o}$, сут) и установления ледостава ($T_{\rm nд}$, сут) по метеостанциям Березники и Пермь соответственно для Камского и Воткинского водохранилищ, где переход наблюдается в самые ранние сроки.

Влияние особенностей формы ложа возможно определить с помощью коэффициента Км, при увеличении которого уменьшается доля глубоководной зоны в пределах участка и, следовательно, уменьшается удельный теплозапас водной массы

 $(q, Дж/м^3)$, из-за чего при прочих равных условиях, сокращаются периоды T_0 и $T_{\pi\pi}$ (рис. 7a, 6).

Влияние метеорологических условий можно выразить через климатический коэффициент:

$$K_{KJI} = (t - t_{BO3JI}) w (^{\circ}C M/c), \qquad (2)$$

где t и $t_{возд}$ — среднемноголетние значения за октябрь температур (°C) воды и воздуха; w — среднемноголетняя скорость ветра за октябрь (м/с).

С увеличением разницы температур воды и воздуха, равно как и с увеличением скорости ветра, интенсивность охлаждения будет выше, а продолжительность периодов $T_{\rm o}$ и $T_{\rm ng}$ меньше.

Таким образом, продолжительность этих периодов прямо пропорциональна изменению удельного теплозапаса и обратно пропорциональна величинам $K_{\kappa n}$ и K_{κ} . Поэтому комплексное влияние этих факторов можно представить в виде отношения $q \cdot K_{\kappa}^{-1} \cdot K_{\kappa n}^{-1}$, которое позволяет достаточно точно определять сроки наступления ледовых фаз по районам Камского водохранилища (рис. 7a, 6, 6).

Зависимости, предварительно полученные для гидролого-морфологических районов (более крупных таксономических единиц), полностью

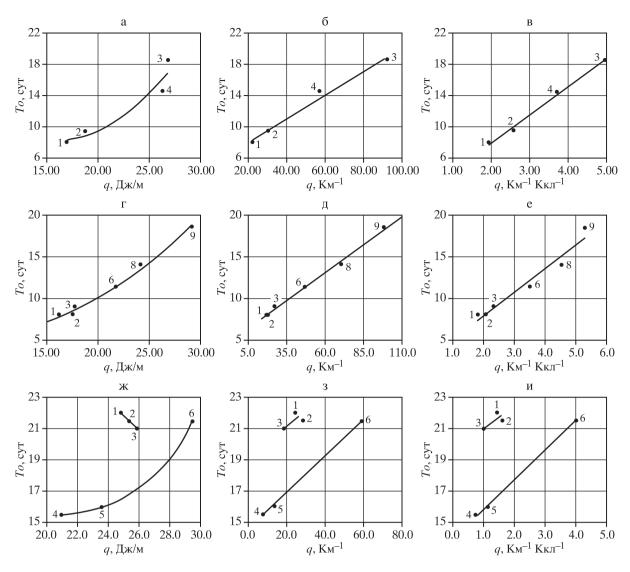
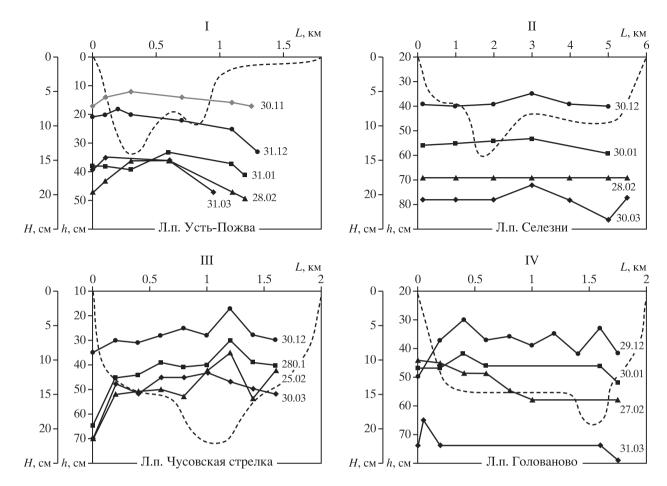


Рис. 7. Зависимости периода T_o от удельных теплозапасов, морфометрических особенностей и климатических условий: a) $T_o = f(q)$, δ) δ 0, δ

подтвердились для участков Камского водохранилища (рис. 7ε , ϕ , e), а также для условий Воткинского водохранилища (рис. 7ε , u, κ). Анализ положения точек на зависимостях (рис. 7ε , u, κ) показал, что в верхней части водоема с речными условиями (участки: 1, 2, 3) общие закономерности нарушаются под воздействием постоянных сбросов более теплых вод Камского водохранилища через ГЭС из-за наличия обратной температурной стратификации в его приплотинном участке 9.

Локальные (районные) неоднородности толщины ледяного покрова по длине водоема обусловлены изменением морфометрических характеристик районов и антропогенным воздействием. Анализ результатов многолетних наблюдений

на ледовых профилях (рис. 8) показывает, что в гидролого-морфологических районах, процессы нарастания и распределения толщины ледяного покрова протекают по-разному. Средняя толщина льда к концу зимы на Камском водохранилище составляет: в первом районе - 40 см (сказывается влияние сбросов промышленных вод городов Соликамска и Березники, а также обсыхание к середине зимы обширных мелководий с благоприятными условиями для интенсивного нарастания толщины льда), во втором - 80 см, в третьем - 50 см (влияние сбросов подогретых вод Пермской ГРЭС), в четвертом – 75 см (номера районов на рис. 1а). На Воткинском водохранилище (рис. 16) средняя толщина ледяного покрова к концу зимы во втором районе составляет 71 см и под влиянием попусков ГЭС уменьшается



вверх к первому (50 см) и вниз к третьему (63 см) районам.

Для камских водохранилищ в целом типичным является наличие двух видов льда — кристаллического и снежного (рис. 9), а в районах, где суточные колебания уровня воды способствуют появлению вдольбереговых трещин и выходу воды на лед, характерно наличие снего-водных прослоек и увеличение толщины льда у берегов по сравнению с русловой частью [5].

Исследования поперечных деформаций ледяного покрова путем нивелирования его поверхности показали, что на водохранилищах, в отличие от малых и средних рек, общего прогиба не наблюдается ввиду более резкого понижения уровня воды в результате сработки и неравномерного распределения снега на льду. Имеются лишь локальные прогибы льда, которых может быть несколько на поперечном профиле.

Форма ложа гидролого-морфологических районов Камского водохранилища оказывает влияние и

на продолжительность периода от перехода температуры воздуха через 0 °С к положительным значениям до даты вскрытия весной, но косвенно через особенности гидрологического режима и антропогенного воздействия. Анализ карт сроков вскрытия и очищения водохранилищ ото льда показал, что по типизации Р.В. Донченко [1] Камское водохранилище относится ко второму типу: вскрытие начинается на верхнем участке водохранилища, затем на приплотинном и в последнюю очередь в средней части акватории, а Воткинское – к первому: вскрытие начинается в верхней части водохранилища, последовательно распространяется на середину и заканчивается в приплотинной части, как и у большинства водохранилищ.

Сбросы промышленных подогретых вод городов Соликамск и Березники (I район) и Пермской ГРЭС (III район) приводят к образованию полыней в местах выбросов, их развитию вниз по течению в конце зимы. Это препятствует формированию заторов в зоне выклинивания подпора и

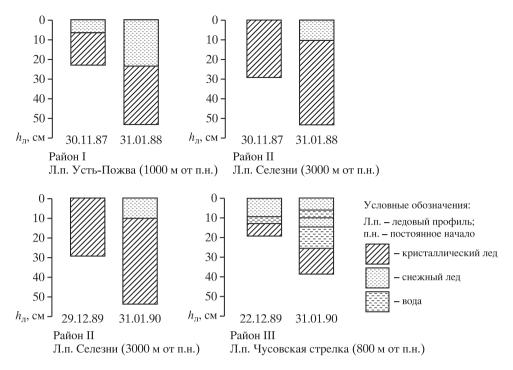


Рис. 9. Изменение толщины $h_{_{\rm J}}$ и структуры ледяного покрова зимой 1987—88 и 1989—90 гг. в разных районах Камского водохранилища

способствует более раннему освобождению ото льда этих районов.

Зона теплового влияния сбросов подогретых вод Пермской ГРЭС, размеры которой определяются температурой и расходом сбрасываемой воды, температурой воздуха, режимом уровня воды и течений, морфометрическими особенностями участка водохранилища в районе сброса подогретых вод, распространяется до плотины Камской ГЭС (60 км) и в нижнем бъефе. На всем протяжении приплотинного участка в русловой зоне происходит уменьшение толщины льда в результате стаивания с нижней поверхности и изменения его структуры с преобладанием снежного льда. Это существенно повышает опасность пешеходных переходов в этом районе [5].

Для условий камских водохранилищ разработаны методики краткосрочных и среднесрочных прогнозов сроков появления ледяных образований, основанные на методе Л.Г. Шуляковского [10] и корреляционных зависимостях сроков появления осенних ледяных образований от дат перехода: температуры воздуха через 0 °C, температуры воды через 3 °C, 2 °C и температуры почвы через 2 °C на глубине 20 см, 3 °C на глубине 40 см, 5 °C на глубине 80 см.

Для прогнозов весенних ледовых явлений также выявлены тесные зависимости сроков вскрытия и очищения от дат перехода температуры воздуха через 0 °C к положительным значениям. Для

Воткинского водохранилища получены зависимости сроков вскрытия от дат начала интенсивного подъема уровня воды на крупных реках водосбора Воткинского водохранилища. Проверка на независимом материале показала, что оправдываемость прогнозов составляет 75–100%.

Предложенные методические разработки могут найти применение для краткосрочных и среднесрочных прогнозов сроков наступления ледовых фаз на других водохранилищах.

Выводы:

- 1. Выявленные закономерности формирования водного и ледового режима водохранилищ под влиянием одних и тех же факторов (климатических, антропогенных, морфометрических, гидрометеорологических) указывают на то, что зимний режим это единое целое. Поэтому, совместное исследование водного и ледового режима не только правомерно, но и необходимо, поскольку оно дает возможность глубже понять особенности их проявления в разных частях водохранилищ в годы различной водности и в разные по суровости зимы.
- 2. Зависимость площадей обсыхания ледяного покрова, образующихся в процессе зимней сработки на разных участках водохранилища, от морфометрического коэффициента Км, представляющего соотношение площадей и средних глубин прибрежной, мелководной и глубоководной зон в пределах участков, подтверждает, что этот

коэффициент объективно характеризует особенности формы ложа каждого из участков и размеры площадей обсыхания льда.

- 3. Вследствие понижения уровня воды на водохранилищах образуются многочисленные замкнутые котловины, количество, местоположение и размеры которых зависят от уровня сработки водохранилища и характера подводного рельефа. Резкое увеличение числа ям, а также их суммарных площадей и объемов наблюдается в интервалах сработки 3.0–4.0 м и 4.5–5.5 м, что соответствует первой надпойменной террасе и широкой пойме р. Камы и ее притоков.
- 4. Выявлены основные пространственно-временные закономерности образования и разрушения ледяного покрова на камских водохранилищах:
- ледообразование на Камском водохранилище начинается на верхнем участке, затем в центральной и приплотинной частях водоема, а на Воткинском водохранилище замерзание начинается в центральной части и далее распространяется вверх и вниз по течению;
- вскрытие на Камском водохранилище начинается на его верхнем участке, затем на приплотинном и в последнюю очередь в средней части акватории, на Воткинском в верхней части водохранилища, последовательно распространяется на середину и заканчивается в приплотинной части, как и у большинства водохранилищ.

Эта последовательность сохраняется и в аномальные годы, изменяется лишь продолжительность замерзания и освобождения ото льда акваторий водохранилищ.

5. Зависимости продолжительности периодов с момента устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С до даты появления ледяных образований и установления ледостава от отношения удельного теплозапаса к морфометрическому Км и климатическому Ккл коэффициентам отражают комплексное влияние этих факторов на процессы ледообразования, что дает возможность рекомендовать использование данного метода при изучении других водохранилищ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Донченко Р.В. Ледовый режим водохранилищ СССР // Тр. ГГИ. 1971. Вып. 187. С. 3–108.
- 2. Дьяконов К.Н. Влияние существующих и проектируемых водохранилищ на произрастание прибрежных лесов в связи с изменениями гидрогеологических и климатических условий // Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1968. 24 с.
- 3. *Калинин В.Г.* К характеристике формирования уровенного режима камских водохранилищ в зимний период // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2007. № 1. С. 92–102.
- 4. Калинин В.Г., Пьянков С.В., Мацкевич И.К., Микова К.Д. Исследование гидрологического режима крупных водохранилищ с использованием геоинформационных технологий (на примере камских) // Тез. докл. науч.-практ. конф. по региональному конкурсу РФФИ-Урал. Результаты научных исследований. Пермь: ПНЦ УрО РАН, 2007. С. 255–258.
- 5. *Калинин В.Г.* Ледовый режим рек и водохранилищ бассейна Верхней и Средней Камы: монография. Перм. гос. ун-т. Пермь, 2008. 252 с.
- 6. Калинин В.Г. О внутрисезонном распределении зимних расходов воды через ГЭС на камских водохранилищах / Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: в 2 т. Т. І: Гидро- и геодинамические процессы. Химический состав и качество воды // Тр. междунар. науч.-практ. конф. (26–28 мая 2009 г., Пермь). Перм. гос. ун-т. Пермь, 2009. С. 51–54.
- 7. *Калинин В.Г.* Особенности зимней сработки водохранилищ камского каскада // Тр. Междунар. семинара: "Генетические и вероятностные методы в гидрологии: проблемы развития и взаимосвязи" (Одесса, 26–28 марта 2009 г.). Москва, 2009. С. 121–127.
- 8. *Матарзин Ю.М., Мацкевич И.К.* Вопросы морфометрии и районирования водохранилищ // Вопросы формирования водохранилищ и их влияния на природу и хозяйство. Пермь, 1970. С. 27–45.
- 9. Сорокина Н.Б., Матарзин Ю.М. Уровенный режим и его роль в процессах формирования Камского водохранилища // Вопросы формирования водохранилищ и их влияния на природу и хозяйство. Пермь, 1970. С. 9–26.
- 10. *Шуляковский Л.Г.* Появление льда и начало ледостава на реках, озерах и водохранилищах. Гидрометеоиздат, 1960. 216 с.

Features of Winter Regime Formation of Valley Water Storage Reservoirs

V.G. Kalinin

Perm State University

The features of winter regime of valley water storage reservoirs depending on natural and anthropogenic factors are revealed. Legality and necessity of mutual study of water and ice regime is shown, as it makes possible to understand deeper the specific features of its manifestation in different parts of water storage reservoirs.