

*Pump aggregate, pressure pipeline, axial-flow pump, transitional processes, shock wave velocity, hydraulic impact, siphon outlet, hydraulic losses.*

### References

1. **Kondratjev V. N.** Proektirovaniye sifonnyh vodovypuskov dlya nasosnyh stantsij / V. N. Kondratjiev, E. V. Skosarev, I. T. Chibisov, V. N. Shavarin // Hydrotehnicheskoye stroiteljstvo. – 1976. – № 1. – S. 54–56.
2. **Ali M. S.** Issledovaniya perehodnyh protsessov v napornyh kommunikatsiyah nasosnyh stantsij s osevyimi nasosami pri puske agregatov / M.S. Ali, D. S. Beglyarov // Prirodoobustrojstvo. – 2015. – № 3. – S. 74–78.
3. **Arshenevsky N. N.** Perehodnyye protsessy krupnyh nasosnyh stantsij / N. N. Arshenevsky, B. B. Pospelov. – M.: Energiya, 1980. – 155 s.
4. **Vishnevsky K. P.** Perehodnyye protsessy v napornyh sistemah vodopodachi. – M.: Agropromizdat, 1986. – 93 s.

Received on 31.03.2016.

### Information about the authors

**Ali Munzer Suleiman**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of agricultural water supply and drainage FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Timiryazeva, 49; tel.: 8-499-391-12-07; e-mail: munzer@yandex.ru.

**Beglyarov David Surenovich**, doctor of technical sciences, professor of the chair of agricultural water supply and drainage FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Timiryazeva, 49; tel.: 8-499-976-11-85.

**Lentyaeva Ekaterina Alexeevna**, candidate of technical sciences, FGBNU VNIIGiM named after A. N. Kostyakov, 127550, Moscow, Boljshaya Academicheskaya, 44, corpus 2; tel.: 8-499-976-23-49; e-mail: Elentaeva@yandex.ru.

**Apresyan David Shamilevich**, candidate of technical sciences, leading engineer of The Joint-stock company «Mosinzhproject»; 111250, Moscow, pr. Zavoda Serp i Molot, d.108; tel. 7-926-569-34-34; e-mail: fender-omega@mail.ru.

УДК 502/504:556.535.5

### Л. С. БАНЩИКОВА

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный Гидрологический институт», г. Санкт-Петербург

### А. А. БАНЩИКОВ, М. В. СОБОЛЕВ, С. В. ХВАЛЕВ

Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное объединение «Гидротехпроект», г. Санкт-Петербург

## ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ РЕК ПЕСТОВСКОГО РАЙОНА НОВГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ\*

*В работе дана характеристика ледового режима для рек бассейна Молога в пределах Пестовского района Новгородской области за многолетний период. Выполнена оценка изменчивости различных фаз ледового режима: осеннего ледохода, ледостава, весеннего ледохода, повторяемости и мощности заторов и зажоров, толщины льда за период 1931–2013 годов. Выявлено, что изменение зимних температур воздуха привело к значительному изменению параметров ледового режима. Отмечается, что общая продолжительность периода с ледовыми явлениями сократилась в среднем на 15 дней. При этом сроки наступления первых ледовых явлений и осеннего ледохода практически не изменились. Ледоход, длится от 4 до 10 дней. В то же время уменьшился период ледостава в среднем по району на 15 дней. При этом сформировавшийся ледовый покров не всегда устойчив: наблюдаются полыньи и закраины в течение всего зимнего периода. Весенний ледоход на участке реки Молога так же наступает раньше на 1–2 недели, а на притоках и вовсе отсутствует. Так величина максимальных зажорных уровней воды в среднем понизилась на 20 %, заторного – 30 %, что привело к изменению повторяемости опасных гидрологических явлений и уменьшению их мощности.*

*Верхнее-Волжский речной бассейн, ледовый режим рек, заторы, зажоры, изменение климата.*

\* Работа выполнена в рамках Проекта РФФИ № 15-45-06003, «Конкурс РФФИ - Новгородская область – (№15-41-07000) – р\_2».

**Введение.** Ледовый режим на реках большей части России наблюдается от нескольких недель до полугода, поэтому учет процессов образования первичных ледовых явлений, условий формирования ледостава, ледохода, разрушения ледового покрова, а так же заторов и зажоров необходимо при использовании водных объектов.

Формирование ледового режима зависит от местных факторов, постоянных – гидравлических и морфометрических параметров русла рек, и переменных, меняющихся с каждым годом и имеющих непосредственное влияние на процессы формирования зимнего режима рек, то есть климатические параметры.

В последние десятилетия ледовый режим изучается многими учеными, в частности В. А. Бузиным и А. Т. Зиновьевым выполнены обобщения, изложенные в монографии [2], предложен метод прогноза максимальных уровней воды при заторах льда на средних реках. Рядом исследователей, в том числе Н. И. Алексеевским, Д. В. Козловым, Н. Л. Фроловой, С. А. Агафоновой, были определены особенности ледового режима и процессов заторообразования на реках различных регионов России [4, 5]. В 2010 г. коллективом ученых из Института водных проблем РАН была составлена карта заторных наводнений на реках России.

Во многих работах указано, что за многолетний период произошло существенное изменение температур воздуха, в том числе и на территории бассейна Верхней Волги [1].

Учитывая вышеописанное, целью данной работы стало определение характеристик ледового режима рек и их изменения в пределах рассматриваемого района.

**Материалы и методы.** Большая часть территории Новгородской области относится к бассейну Балтийского моря, и лишь крайняя восточная часть, а именно Пестовский район Новгородской области, – к бассейну Верхней Волги. Главный водораздел Восточно-Европейской равнины проходит по Валдайской возвышенности, с ее западных склонов берут начало реки бассейна Балтийского моря, с восточных – бассейна Каспийского моря (Верхняя Волга).

Несмотря на территориальную близость, принадлежность к разным бассейнам оказывает влияние на различие в параметрах режима рек, в том числе и ледового.

В Пестовском районе преобладают

малые реки длиной менее 200 км, относящиеся к бассейну реки Молога (среднему течению). Из них наиболее крупные – это реки Семьтинка, Меглинка, Паросло, Меолистовка, Кирва, Колодня, Касть.

Ледовый режим рек формируется в зависимости от местных факторов: постоянных (гидравлические и морфометрические параметры русла рек) и переменных (меняющихся для каждого года и имеющие непосредственное влияние на процессы формирования зимнего режима рек, то есть климатические параметры).

Для оценки численных характеристик ледового режима рек Пестовского района Новгородской области был использован метод расчета, основанный на статистической обработке данных, полученных на гидрологических постах, расположенных на реках Молога и Меглинка за период 1931–2013 гг., и опорным метеостанциям Охоны и Устюжна за период 1929–1950 гг. и 1960–2013 гг., а также архивные материалы наблюдений на реках Новгородской области.

Применение методов статистической обработки результатов многолетних наблюдений за параметрами ледового режима позволяет получать достоверные количественные характеристики, на основании которых устанавливаются зависимости между отдельными переменными

**Результаты и обсуждение.** Для малых водотоков характер ледового режима, сроки наступления его различных фаз, а также толщина льда во многом зависят от температуры воздуха. Выполненный анализ средней температуры воздуха за холодный период с октября по апрель для метеостанции Охоны за период 1960–2013 гг. показал, что она увеличилась на 3,0 °С.

При этом, в месячном разрезе наибольшие тренды наблюдаются в январе – 9,2 °С, наименьшие – октябрь и апрель (0,7 °С и 0,8 °С соответственно).

Эти изменения в температуре воздуха сказались на сроках наступления различных фаз ледового режима.

Первые осенние ледовые явления на реках – забереги и сало, наблюдаются на всех реках рассматриваемого района. Средняя дата их появления – первая декада ноября. Эта дата значительно не изменилась за периоды с 1931 по 1966 [6] и с 1967 по 2013 годы. В то же время даты наиболее раннего и позднего появления первых ледовых явлений изменились на 5–7 дней. Это связано с наиболее поздним

установлением отрицательных температур воздуха в районе. За многолетний период наиболее ранние даты приходятся на вторую декаду октября, наиболее поздние – на десятые числа декабря.

Особенность ледового режима на малых реках заключается в том, что образовавшиеся забереги путем смораживания формируют перемычки, а затем – уже сплошной ледостав, который разрушается только в весенний период. Осенний ледоход на них отсутствует. Однако на участке реки Молога, а также в низовьях ее притоков только в редкие годы, при значительных заморозках, сплошной ледостав устанавливается сразу же. В большинстве случаев ледостав носит временный характер и разрушение ледового покрова происходит через 4–5 суток.



а



б

Рис. 1. Шугоход (а) и полынья (б) на реке Молога у города Пестово [7]

Зажоры льда на участке реки Молога в районе Пестово, явление достаточно частое, за весь период наблюдений их повторяемость практически не изменилась. Она составляет 64 %, при этом величина максимального наблюдаемого зазорного уровня увеличилась: если в период с 1931 по 1966 год она составила 362 см, то по 2013 год уже 456 см. Расчетное значение максимального зазорного уровня воды 1%-ой вероятности превышения увеличилось с 470 до 519 см.

Зажоры льда не вызывают существенного подъема льда, поскольку затопление в районе Пестово начинается при уровне 690 см, но они могут привести к нарушению работы водозаборных сооружений, расположенных в русле реки. На притоках Меглинка, Семьтинка, Паросло, Меолистовка, Кирово и Колодня зазорные уровни так же не превышают отметку затопления.

Формирование ледяного покрова на рассматриваемом участке происходит по

Осенний ледоход (чаще шугоход) наблюдается практически ежегодно и длится в среднем 4–10 дней.

На реке Молога все чаще формируется несплошной ледостав и полыньи, которые наблюдаются в течение всего зимнего периода. Ледяной покров неравномерный, с шугой и полыньями (рисунок 1). Шуга при осеннем ледоходе занимает от 10 до 80 % живого сечения реки. Для рек равнинного типа, с чередованием плесов и перекатов, к которым относится участок р. Молога, шуголедовые процессы происходят путем смерзания полей шуги на плесах. При подходе кромки к сечению, в котором начинается процесс подныривания под кромку, возникает зажор, который в свою очередь вызывает подпор на перекате.

второму и третьему типу [3] путем перемещения кромки ледяного покрова снизу вверх по течению и образования ледяных перемычек за счет остановки и смерзания шуги выше образовавшихся выше по течению. В среднем по району он устанавливается позднее – в середине декабря. Изменились и граничные даты, самая ранняя дата установления ледостава сдвинулась на неделю – 28 октября, самая поздняя – 01 января.

Средняя продолжительность ледостава за весь период наблюдений на рассматриваемом участке бассейна реки Молога составляет 134 дня, в суровые зимы она увеличивается до 170 дней, в мягкие зимы с оттепелями и ранней весной – до 95 дней. В среднем продолжительность ледостава за период с 1931 по 1966 и за период с 1967 по 2013 год уменьшилась на 15 дней.

Изменение продолжительности ледостава оказало влияние и на толщину льда. Нарастание толщины льда в начале ледостава

в значительной мере зависит от типа зимнего периода. Чем теплее зима, тем меньше период нарастания толщины льда. При этом в теплые зимы максимальная толщина льда в 2...3 раза меньше, чем в холодные. С учетом потепления зим в изучаемом районе нарастание происходит в течение 1–2 месяцев, причем наиболее интенсивное нарастание происходит в первые две недели ледостава (1...2 см/сут), а затем оно не превышает 0,2 см/сут.

Еще одним фактором, определяющим рост льда, является режим замерзания реки. В годы, когда наблюдается шугоход, ледяной покров формируется из шуги за счет ее промерзания, а затем уже при отрицательном балансе теплообмена происходит нарастание льда снизу за счет кристаллизации воды.

В годы, когда шугоход отсутствует вслед за образованием перемычек, а затем и за образованием корки льда, происходит нарастание толщины льда путем кристаллизации воды на нижней поверхности этой корки с интенсивностью, определяющейся тепловым балансом нижней поверхности ледяного покрова.

Максимальная наблюдаемая толщина льда за весь период наблюдения на реках рассматриваемого района составляет 74 см (1958 год), минимальная 33 см (1992 год), средняя 55 см. В верховьях притоков Мологи русла рек промерзают до дна.

Весенние ледовые явления на реке Молога практически ежегодно начинаются с подвижек. В некоторые годы, вскрытию рек предшествует вода поверх льда, появившаяся в результате таяния снегов. Разрушение ледяного покрова на участке р. Молога происходит по второму типу [3], в результате двух факторов – таяния льда, и динамических перенапряжений. Продолжительность периода, предшествующего ледоходу увеличи-

лась на Мологе на 6 дней, и устанавливается раньше, в среднем в конце марта – начале апреля. В отдельные годы при ранней весне в третьей декаде февраля, при затяжной зиме – во второй декаде апреля.

На притоках реки Молога вскрытие происходит по первому типу, когда разрушение ледяного покрова происходит за счет поверхностного и внутреннего таяния льда под влиянием внешних факторов. Весенние ледовые явления практически отсутствуют, лишь в 25 % наблюдаются подвижки льда.

В среднем реки вскрываются в первой декаде апреля. Наиболее ранняя дата вскрытия – 26 февраля, поздняя – 16 апреля.

Весенний ледоход на притоках реки Молога практически отсутствует и наблюдается лишь после суровых зим, которые в последние десятилетия не наблюдаются.

На участке реки Молога вблизи г. Пестово ледоход наблюдается ежегодно. Продолжительность его за многолетний период практически не изменилась и составляет 3–4 дня, наблюдается он в десятых числах апреля. В годы с ранней весной ледоход может начинаться в третьей декаде марта, в годы с суровыми зимами ледоход происходит в конце апреля.

В период ледохода на реке Молога, в том числе и на рассматриваемом участке наблюдаются заторы льда. Помимо условий, при которых происходит замерзание реки, причиной формирования заторов льда является наличие большого количества островов и отмелей в русле реки, встретив которые, ледяные поля останавливаются. К примеру, на рассматриваемом участке на реке Молога (ниже поста) наблюдается большое число островов, возникших в результате затона леса на перекатах (при молевом сплаве) и отложения на них русловых фаций наносов (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Заторные участки на реке Молога близ устья р. Меглинка (а) и на участке водозабора (б)

Повторяемость заторов изменилась, их количество значительно уменьшилось и составляет 9 % относительно периода до 1966 года; мощность заторов также уменьшилась. Если в период с 1931 по 1966 год максимальный наблюдаемый заторный уровень воды составлял 942 см (1952 год), то с 1967 по 2013 год – 579 см (1990 год). Расчетное значение максимального заторного уровня и воды 1%-ой вероятности превышения на реке Молога в районе г. Пестово составляет 1107 см.

На крупных притоках, в том числе р. Меглинке, на формирование заторов влияние оказывает режим реки Молога. Так, при более позднем вскрытии реки-приемника, когда на р. Молога наблюдается сплошной ледостав, а на приустьевые участки уже поступил лед со среднего течения притоков, формируются заторы льда.

Повторяемость заторов составляет 26 %, максимальный наблюдаемый заторный уровень воды составляет 404 см (1955 год). Расчетное значение максимального заторного уровня воды 1%-ой вероятности превышения в районе с. Русское Пестово составляет 498 см, то есть превышение над отметкой затопления составляет 48 см.

Продолжительность заторов льда составляет 3–5 дней.

После прорыва затора ледоход наблюдается еще несколько дней и уже в первой декаде апреля ледовые явления обычно прекращаются. Наиболее ранняя дата окончания ледохода приходится на 23 марта, поздняя – 26 апреля. Более раннее наступление весны привело к тому, что русла рек полностью очищаются ото льда на неделю раньше, чем в предшествующем периоде.

#### Выводы

Таким образом, выяснено, что ледовый режим рек Новгородской области Пестовского района за период с 1931 по 2013 год в достаточной степени изменился. Общая продолжительность периода с ледовыми явлениями сократилась в среднем на 15 дней. При этом сроки наступления первых ледовых явлений и осеннего ледохода практически не изменились. Ледоход, длится от 4 до 10 дней. В то же время уменьшился период ледостава в среднем по району на 15 дней. При этом сформировавшийся ледовый покров не

всегда устойчив – наблюдаются полыньи и закраины в течение всего зимнего периода. Весенний ледоход на участке реки Молога так же наступает раньше на 1–2 недели, а на притоках и вовсе отсутствует.

Следует отметить, что наблюдаемый в последние годы маловодный период сказывается и на величинах максимальных уровней воды периода ледовых явлений, величина максимальных зажорных уровней воды в среднем понизилась на 20 %, заторного – на 30 %. Это, в свою очередь, привело к изменению повторяемости опасных гидрологических явлений и уменьшению их мощности.

#### Библиографический список

1. Агафонова С. А. Современное изменение ледового режима рек бассейна Волги / С. А. Агафонова, Д. Н. Айбулатов, Н. Л. Фролова, Д. В. Козлов // Природообустройство. – 2014. – № 3. – С. 60–62.
2. Бузин В. А., Зиновьев А. Т. Ледовые процессы и явления на реках и водохранилищах. – Барнаул: Изд-во ООО «Пять плюс». – 2009. – 168 с.
3. Донченко Р. В. Ледовый режим рек СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 246 с.
4. Закономерности гидрологических процессов; под ред. Н. И. Алексеевского. – М.: ГЕОС, 2012. – 736 с.
5. Козлов Д. В. Опасные ледовые явления на реках и водохранилищах России: Монография / Козлов Д. В., Бузин В. А., Фролова Н. Л., Агафонова С. А., Бабурин В. Л., Банщикова Л. С., Горошкова Н. И., Завадский А. С., Крыленко И. Н., Савельев К. Л., Козлов К. Д., Бузина Л. Ф. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – 348 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 10. Верхне-Волжский район. Книга 1. – М.: Гидрометеиздат, 1973. – 475 с.
7. Сайт семьи Андреевых [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.liuch.ru> (Дата обращения 03.02.2016).

Материал поступил в редакцию 27.01.2016.

#### Сведения об авторах

**Банщикова Любовь Святославовна**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «ГГИ»; 199053, Санкт-Петербург, 2-ая линия В.О., д. 23 ; e-mail: balju@rambler.ru.

**Банщиков Антон Александрович**,

начальник экспедиционного отдела ООО НПО «Гидротехпроект», 199178, г. Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., д. 97, лит. А, пом. 3-Н; e-mail: expedition.gtp@yandex.ru.

**Соболев Максим Викторович**, ведущий инженер экспедиционного отдела ООО НПО «Гидротехпроект»; 199178, г. Санкт-

Петербург, 14-я линия В.О., д. 97, лит. А, пом. 3-Н e-mail: sobolevmaxv@mail.ru.

**Хвалева Сергей Валентинович**, техник экспедиционного отдела ООО НПО «Гидротехпроект»; 199178, г. Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., д. 97, лит. А, пом. 3-Н; e-mail: atribyt@bk.ru.

#### L. S. BANSHCHIKOVA

The Federal state budget institution «The state Hydrological institute», Saint-Petersburg

#### A. A. BANSHCHIKOV, M. V. SOBOLEV, S. V. KHVALEV

The limited liability company Scientific-production association «Hydrotechproject», Saint-Petersburg

## THE ICE CONDITION OF RIVERS OF THE PESTOVSKY REGION OF THE NOVGOROD AREA

*In the work there is given a description of the ice condition for the rivers of the Mologa basin within the Pestovsky region of the Novgorod area for a long period. The assessment is made on the changeability of different phases of the ice regime: autumn ice floating, freezing-over, spring ice floating, frequencies and force of congestions and jams, ice thickness for a period of the 1931–2013 years. It is found that changing of winter air temperatures has lead to a significant changing of characteristics of the ice condition. It is noted that the total duration of the period with ice phenomena has reduced in average by 15 days. The formed ice cover is not always steady: there can be observed glades and flanges during the whole winter period. Spring ice floating on the part of the Mologa river also begins by 1–2 weeks earlier, and on the tributaries does not take place. Thus the value of maximal jam water levels in average has decreased by 20 %, congestion – by 30 % that has lead to the frequency changing of dangerous hydrological phenomena and decreasing of their force.*

*The Verkhne-Volzhsy river basin, ice condition of rivers, jams, congestions, climate change.*

#### References

1. **Agafonova S. A.** Sovremennoye izmeneniye ledovogo rezhima rek basseina Volgi / S. A. Agafonova, D. N. Aibulatov, N. L. Frolova, D. V. Kozlov // Prirodoobustroistvo. – 2014. – № 3. – S. 60–62
2. **Buzin V. A., Zinovjev A. T.** Ledovye protsessy I yavleniya na rekah I vodohranilishchah. – Barnaul: Izd-vo ООО «Pyatj plyus». – 2009. – 168 s.
3. **Donchenko R. V.** Ledovy rezhim rek SSSR. – L.: Hidrometeoizdat Гидрометеои-здат, 1987. – 246 s.
4. **Zakonomernosti gidrologichaskih protsessov; pod red. N. I. Alexeevskogo.** – M.: GEOS, 2012. – 736 s.
5. **Kozlov D. V.** Opasnye ledovye yavleniya na rekah I vodohranilishchah Rossii; Monografiya / Kozlov D. V., Buzin V. A., Frlova N. L., Agafonova S. A., Baburin V. L., Banshchikova L. S., Goroshkova N. I., Zavadsky A. S., Krylenko I. N., Saveljev K. L., Kozlov K. D., Buzina L. F. – M.: Izd-vo RGAU-MSHA, 2015. – 348 s.

6. Resursy poverhostnyh vod SSSR. Tom 10. Verhne-Volzhsy rajon. Kniga 1. – M.: Hidrometeoizdat, 1973. – 475 s.

7. Sait semji Andreevyh [Electronny resurs]. – URL: <http://www.liuch.ru> (Data obrashcheniya 03.02.2016).

Received on 27.01.2016.

#### Information about the authors

**Banshchikov Anton Alexandrovich**, head of the expedition department ООО НПО «Hydroproject»; 199178, Saint-Petersburg, 14-th line V.O., d. 97, lit. A, pom. 3-Н; e-mail: expedition.gtp@yandex.ru.

**Sobolev Maxim Victorovich**, leading engineer of the expedition department ООО НПО «Hydroproject»; 199178, Saint-Petersburg, 14-th line V.O., d. 97, lit. A, pom. 3-Н; e-mail: sobolevmaxv@mail.ru.

**Khvalev Sergey Valentinovich**, technician of the expedition department ООО НПО «Hydroproject»; 199178, Saint-Petersburg, 14-th line V.O., d. 97, lit. A, pom. 3-Н; e-mail: atribyt@bk.ru.