ГИДРОЛОГИЯ РЕК

УДК 556.535.5

С.А. Агафонова[1], Н.Л. Фролова[2], А.Н. Василенко[3], В.А.Широкова[4]

ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ И ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ НА РЕКАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

По данным 74 гидрологических постов на 65 реках охарактеризован ледовый режим за период с 1961 по 2013 г. Исследуемая территория – Арктическая зона европейской части России. Проанализированы даты появления льда, установления ледостава, вскрытия и очищения от льда; продолжительность осеннего и весеннего ледохода, периодов замерзания и очищения от льда, ледостава, периода с ледовыми явлениями, а также характеристики уровенного режима (максимальный уровень в период весеннего ледохода, уровень при установлении ледостава и появлении льда) и т.д.

Для оценки ледовой опасности использованы такие показатели, как повторяемость выхода воды на пойму в период весеннего ледохода; повторяемость лет, когда максимальный годовой уровень воды сопровождается ледовыми явлениями; характеристики заторов льда (повторяемость, максимальные уровни воды и их заторные составляющие); продолжительность физической навигации, характеристики периодов замерзания и очищения от льда.

Ключевые слова: ледовый режим рек, опасные ледовые явления, изменения климата, заторы льда.

Введение. В климатических условиях России безопасность населения и хозяйства нередко лимитирована опасными ледовыми явлениями. Со сроками и продолжительностью ледовых явлений связаны многие виды хозяйственной деятельности. Ледовые явления и процессы приводят к нарушению условий эксплуатации различных объектов (водозаборов, дорог, мостовых переходов и пр.), к повреждению гидротехнических сооружений, ограничивают сроки судоходства на реках. Во многих случаях ледовыми явлениями обусловлены опасные гидрологические процессы, в том числе наводнения. Часто речь идет не об исключительном действии ледовых явлений, а о неблагоприятном сочетании опасных проявлений водного, ледового режима, русловых процессов.

К опасным ледовым явлениям на территории России относятся: образование внутриводного льда и шуги, зажоры, раннее появление льда и установление ледостава при низком уровне воды, наледи, промерзание, низкая толщина и прочность льда в период ледостава, густой ледоход при высоком уровне воды, заторы, навалы льда, позднее вскрытие и очищение при низком уровне воды [Агафонова и др., 2009; Опасные..., 2015; Бузин, 2008; Ashton, 1989].

Исследуемые реки относятся к бассейну Белого и Баренцева морей, в административном отношении – Республика Карелия, Мурманская и Архангельская области (рис. 1). Территория расположена в пределах субарктического климатического пояса, значительная часть Кольского п-ова и побережье Белого моря относятся к умеренному поясу. Климат территории характеризуется суровой продолжительной зимой и коротким прохладным летом [Геоэкологическое..., 2007].

Крупнейшие реки региона – Онега, Северная Двина, Мезень и Печора; средние – Поной, Варзуга, Сояна, Пеза, Уса, Адзьва, Колва, Сула и др. Характер ледового режима рек зависит от большого числа факторов, среди которых климатические условия, водность рек, величина грунтового питания, скорость течения и т.д. [Дончеко, 1987; Hicks и др., 2008]. Для исследуемой территории особенности ледового режима отдельных участков рек связаны с наличием карста (бассейны рек Кулой, Кепино и др.), истоком из крупных озер (большинство рек Карелии), наличием перекатных участков (реки на Кольском п-ове), для крупных рек – с основным направлением течения. Важная особенность исследуемой территории – зарегулированность большинства средних рек в Карелии и на Кольском п-ове плотинами ГЭС. В результате естественный режим, в том числе ледовый, в пределах отдельных участков нарушен [Агафонова и др., 2006, 2015; Vuglinsky, 2002].

Хозяйственное развитие региона связано преимущественно с разработкой полезных ископаемых. Основные промышленные центры – Мурманск, Кандалакша, Мончегорск, Кировск, Оленегорск, Ковдор,

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail*: sv_andreevna@mail.ru

[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, профессор, докт. геогр. н.; *e-mail*: frolova_nl@mail.ru

[3] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, студент; *e-mail*: saiiiia24@mail.ru

[4] Институт истории естествознания и техники РАН имени С.И. Вавилова, профессор, докт. геогр. н.; *e-mail*: shirocova@gmail.com

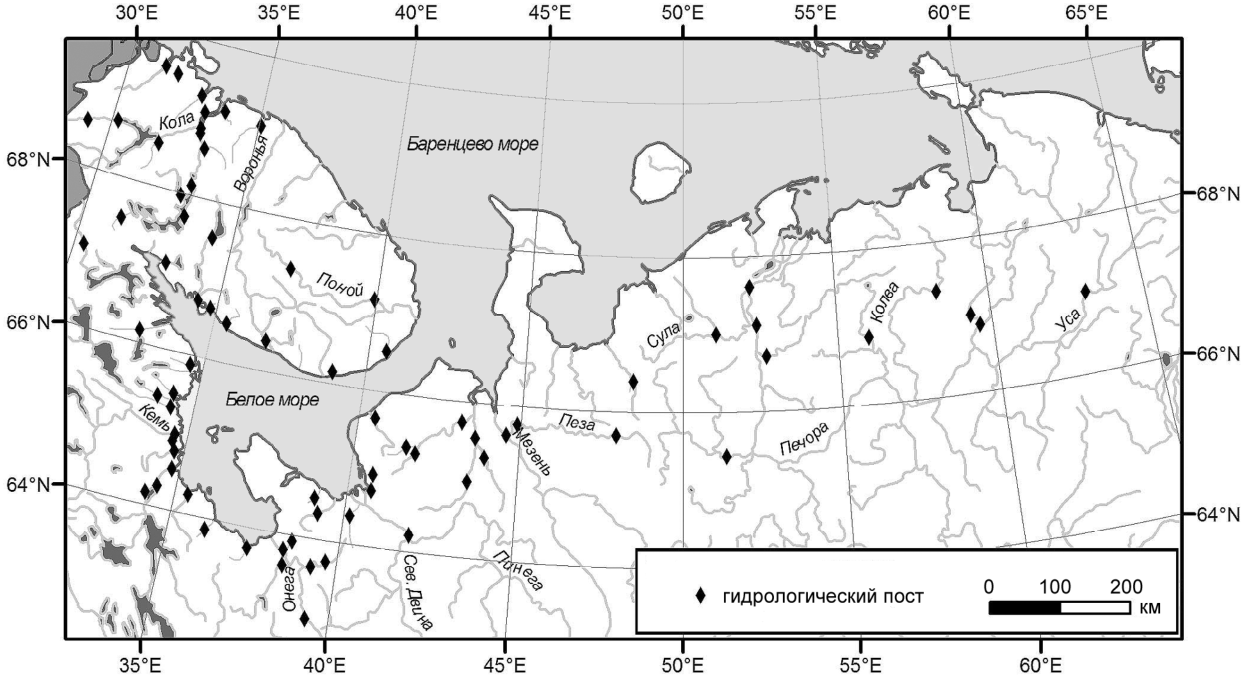

Рис. 1. Схема исследуемой территории

Fig. 1. Study area

Никель, Заполярный, Архангельск, Северодвинск, Новодвинск, Онега и Нарьян-Мар. Основу энергетики составляет Кольская АЭС, многочисленные каскады ГЭС (на реках Нива, Тулома, Ковда, Кемь, Воронья и др.), Кислогубская ПЭС и ТЭЦ. Транспортная инфраструктура представлена морским, речным (Северо-Двинское и Печорское речное пароходство, часть Беломоро-Балтийского канала) и железнодорожным транспортом. Кроме того, существует относительно густая (по сравнению с другими районами Арктики) сеть автомобильных дорог [Геоэкологическое..., 2007]. По р. Печора и притокам осуществляется доставка грузов в рамках Северного завоза, который начинается еще весной, пока реки полноводны. В холодный период года строят зимники, реки в этот период служат ледовыми переправами.

Для арктической зоны европейской территории России (ЕТР) наибольшие затруднения в связи с ледовыми явлениями на реках население и хозяйство испытывают при наводнениях (заторного или зажорного происхождения), при повреждении гидротехнических сооружений во время густого ледохода в случае высокого уровня воды, а также при организации судоходства и ледовых переправ. Исследование ледового режима необходимо для обеспечения безопасности населения и хозяйства в холодный период года. Статистические и картографические обобщения характеристик ледового режима для рек бывшего СССР относятся к 1970–1980 гг. [Гинзбург, 1973; Донченко, 1982, 1987] и должны быть обновлены. Еще актуальнее это для северной части нашей страны, для которой за прошедшие годы накоплен значительный объем информации [Вуглинский, Гронская, 2006].

Материалы и методы исследований. Нами использованы данные наблюдений за период 1961–2013 гг. на 74 гидрологических постах (гп), расположенных на 65 реках (рис. 1), среди них 20 рек с площадью водосбора <1000 км^2 и 4 реки (Онега, Северная Двина, Мезень и Печора) с площадью водосбора >50 000 км^2. К характеристикам ледового режима относятся даты появления льда, установления ледостава, окончания ледостава, вскрытия и очищения ото льда; продолжительность осеннего и весеннего ледохода, периодов замерзания и очищения от льда, ледостава, периода с ледовыми явлениями; характеристики уровенного режима (максимальный уровень воды в период весеннего ледохода, уровень воды при установлении ледостава и появлении льда); характеристики заторов (повторяемость, максимальный уровень воды и его заторные составляющие).

Для описания ледового режима рек исследуемой территории потребовалось восстановление коротких рядов данных, которое выполнено методом гидрологической аналогии с использованием информации по створам, расположенным на реках со схожими физико-географическими условиями и характеристиками водосборов. Приведение к многолетнему ряду проводилось для 20 постов, прежде всего для сроков ледовых явлений (появление льда, установление ледостава, окончание ледостава, вскрытие и очищение от льда). Для оценки характеристик ледового режима за современный период выбраны 1981–2010 гг., для оценки современных изменений сравнивались два периода: 1961–1990 и 1991–2013 гг. [Руководство…, 2014].

Характеристиками, позволяющими оценить опасность наводнений в период с ледовыми явлениями, могут служить повторяемость выхода воды на пойму в период весеннего ледохода (образование заторов) $P_п$(лед), %, а также повторяемость лет, когда максимальный годовой уровень воды сопровождается ледовыми явлениями $P_{Нмакс}$(лед), %. Отметим, что выход воды на пойму не является опасным явлением – обводнение пойменных территорий необходимо для сельскохозяйственных районов. Важно разделять участки, где выход воды на пойму, в том числе в период с ледовыми явлениями, опасен, и участки, где выход воды на пойму необходим и ущерба не приносит. Таким образом, первая характеристика $P_п$(лед) служит для оценки опасности ледового режима на локальном уровне. Отметка выхода воды на пойму может быть заменена в отдельных случаях на отметку критического уровня для данного створа. Другая характеристика ($P_{Нмакс}$(лед)) пригодна для оценки фоновой опасности крупных бассейнов рек, так как отражает особенности гидрологического режима реки в целом [Агафонова и др., 2016].

Результаты исследований и их обсуждение. Лед на реках исследуемой территории появляется в среднем в октябре–первых числах ноября: для рек Уса, Адзьва, Колва – в первой декаде октября, для низовьев рек Печора и Мезень, а также для рек Пеза и Пеша и рек на Кольском п-ове – в середине октября, для рек бассейна Белого моря (Онега, Сума, Нюхча и др.) – в первых числах ноября. Средняя продолжительность периода замерзания составляет от 10 сут. для плесовых участков на средних реках до 30–40 сут. для порожистых участков рек на Кольском п-ове и озерных рек в Карелии. Замерзание на средних и больших реках сопровождается шугоходом и ледоходом, на реках в Карелии и на Кольском п-ове – образованием зажоров. Средняя продолжительность осеннего ледохода и шугохода для большинства средних рек составляет около 10 сут. (рис. 2,*а*).

Изменение характеристик ледового режима в период замерзания в последние годы выражается в смещении сроков появления льда и установлении ледостава в сторону более поздних сроков. Для низовьев бассейна р. Онега смещение составляет неделю для сроков появления льда и около 5 сут. для установления ледостава, для низовьев рек Северная Двина и Мезень – 5 и 10 сут., для рек Печора и Уса – 5 и 7 сут., для рек на Кольском п-ове – 3 и 5 сут. соответственно (рис. 3). Устойчивый значимый тренд к смещению даты появления плавучего льда в сторону календарной зимы (при уровне значимости α=5% по

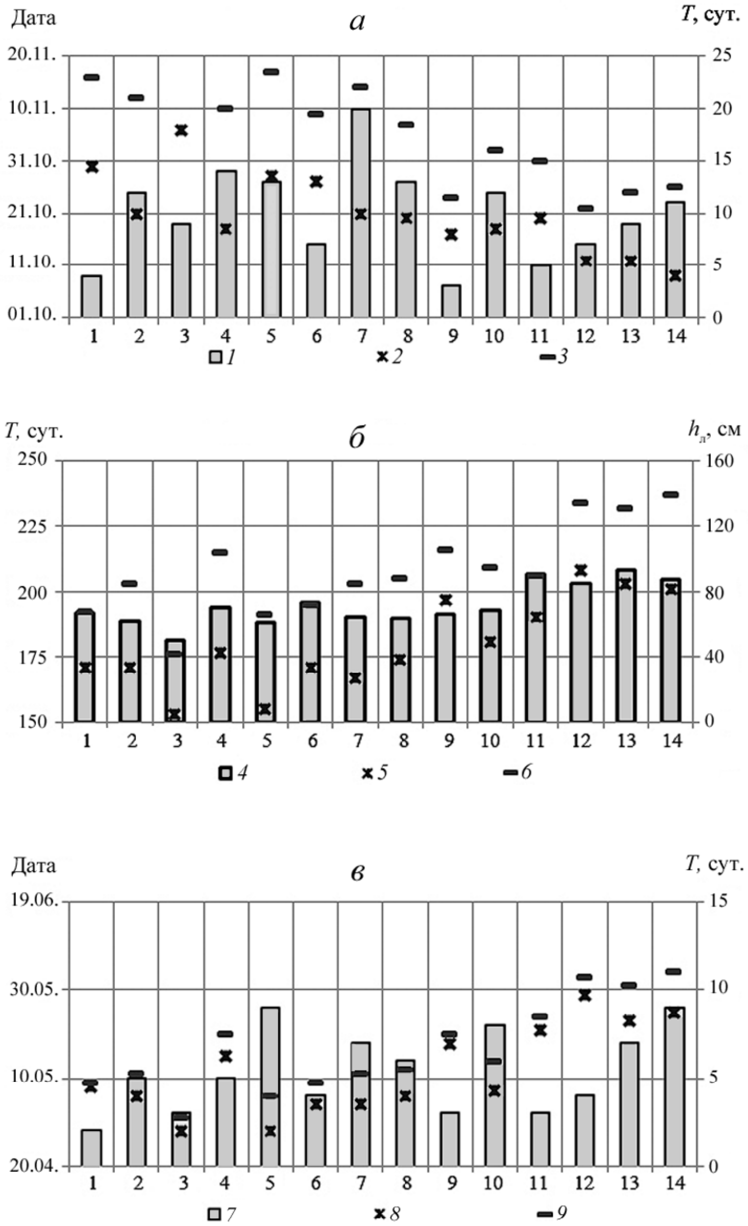

Рис. 2. Характеристики ледового режима: *а* – продолжительность осеннего шугохода (сут.) (*1*), сроки появления льда (*2*) и установления ледостава (*3*); *б* – максимальная толщина льда (см) (*4*), продолжительность ледостава (*5*) и периода с ледовыми явлениями(сут.) (*6*); *в* – продолжительность весеннего ледохода (сут.) (*7*), сроки вскрытия (*8*) и очищения от льда (*9*): 1 – р. Умба – порог Паялка, 2 – р. Варзуга – с. Варзуга, 3 – р. Онега – д. Порог, 4 – р. Поной – с. Каневка, 5 – р. Северная Двина – с. Усть-Пинега, 6 – р. Сояна – д. Сояна, 7 – р. Мезень – д. Дорогорская, 8 – р. Пеза – д. Игумново, 9 – р. Сулла – д. Коткина, 10 – р. Цильма – д. Трусово, 11 – р. Печора – с. Оксино, 12 – р. Колва – с. Хорей-Вер, 13 – р. Адзьва – д. Харута, 14 – р. Уса – д. Сейда

Fig. 2. Characteristics of the ice regime: *a* – duration of the autumn slush ice run (days) (*1*), dates of first-ice (*2*) and complete freezing (*3*); *б* – maximum ice thickness (cm) (*4*), duration of freeze-up period (*5*) and period with ice phenomena (days) (*6*); *в* – duration of the spring ice run (days) (*7*), dates of ice breakup (*8*) and ice clearance (*9*): 1 – the Umba River –the Payalka cataract, 2 – the Varzuga River –Varzuga settl., 3 – the Onega River –Porog settl., 4 – the Ponoy River – Kanevka settl., 5 – the Northern Dvina River – Ust'-Pinega settl., 6 – the Soyana River –Soyana settl., 7 – the Mezen River – Dorogorskaya settl., 8 – the Peza River – Igumnovo settl., 9 – the Sula River – Kotkina settl., 10 – the Tsil'ma River – Trusovo settl., 11 – the Pechora River – Oksino settl., 12 – the Kolva River – Khorey-Ver settl., 13 – the Adz'va River – Kharuta settl., 14 – the Usa River – Sejda settl

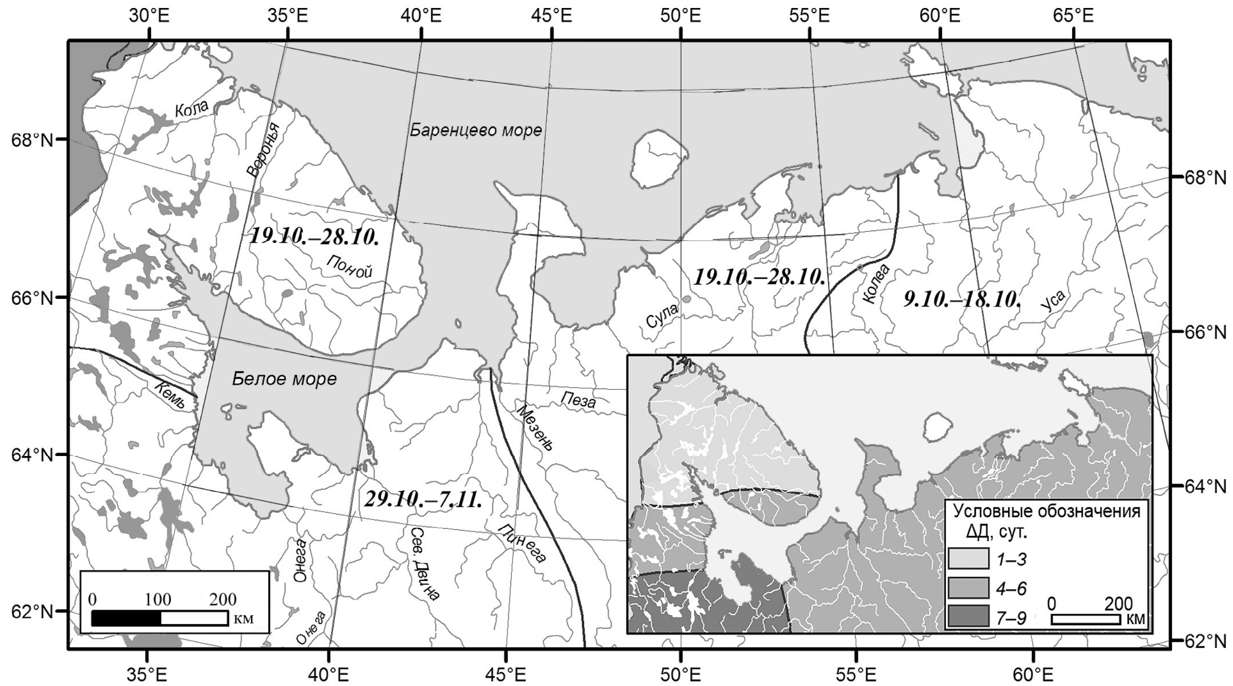

Рис. 3. Карта распределения средних дат появления плавучего льда за период 1981–2013 гг. На врезке – карта изменения даты появления плавучего льда (ΔД, сут.) (в сторону более поздних) на территории севера ЕТР за период 1991–2013 гг. по сравнению с периодом 1961–1990 гг.

Fig. 3. Average dates of first ice for the period of 1981–2013. The box shows the changes in the dates of first ice (ΔД, days towards later ones) in the north of European Russia over the period of 1991–2013 as compared to the period of 1961–1990

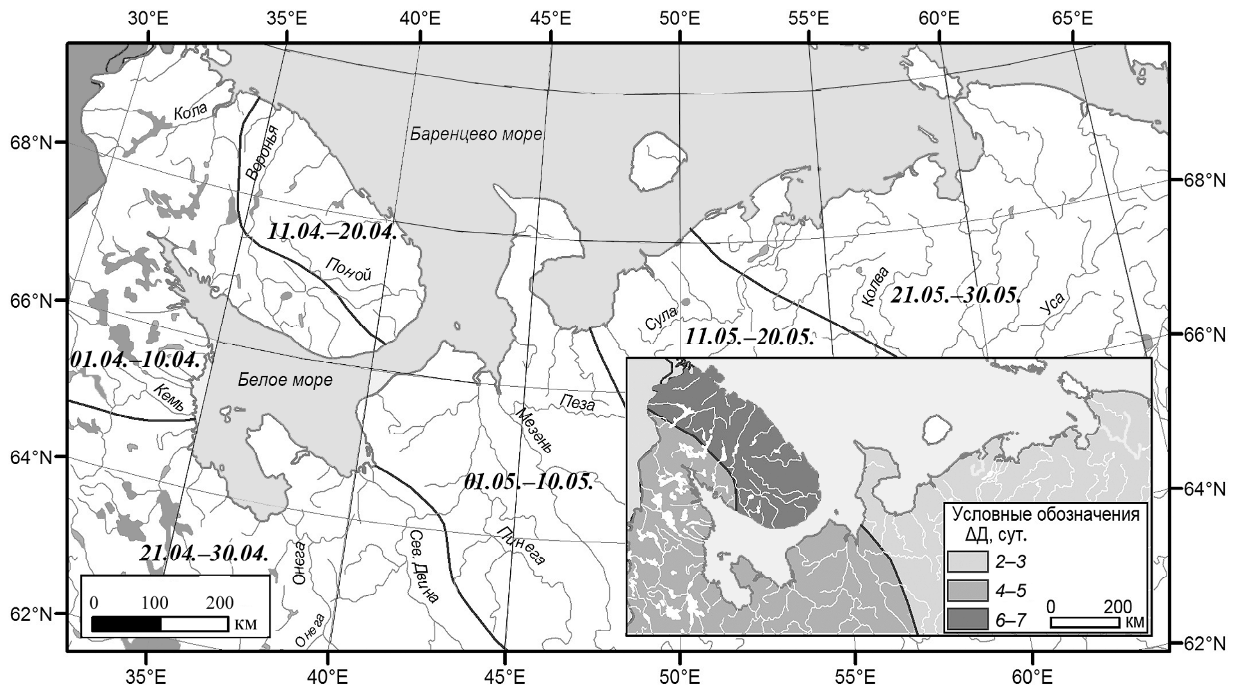

Рис. 4. Карта распределения средних дат вскрытия рек за 1981–2013 гг. На врезке – карта изменения даты вскрытия рек (ΔД, сут.) (в сторону более ранних) на территории севера ЕТР за период 1991–2013 гг. по сравнению с периодом 1961–1990 гг.

Fig. 4. Average dates of ice breakup for the period of 1981–2013. The box shows the changes in the dates of ice breakup (ΔД, days towards earlier ones) in the north of European Russia over the period of 1991–2013 as compared to the period of 1961–1990

критерию тренда Спирмена) наблюдается лишь на некоторых исследуемых постах. На многих реках происходит незначительное увеличение продолжительности шугохода, что часто ведет к формированию зажоров льда. Ледостав для большинства исследуемых постов устанавливается при более высоких уровнях воды.

Для большинства рек на исследуемой территории характерен устойчивый ледостав, исключение составляют порожистые участки и истоки из крупных озер. Здесь ледостав кратковременный или не наблюдается (р. Монча – гп Мончегорск, р. Малая Белая – гп Хибины и др.). Ледостав также не наблюдается на участках сброса промышленных сточных вод и ниже плотин ГЭС. Например, для створа р. Кодина – гп Кодино устойчивый ледостав не наблюдался до 1992 г., когда завод, расположенный на 1,0 км выше гидрологического поста, прекратил функционировать.

На р. Печора и ее притоках ледостав устанавливается в среднем в конце октября, на реках на Кольском п-ове – в первой декаде ноября, на реках в Карелии – во второй декаде ноября. Средняя продолжительность ледостава колеблется в широких пределах и составляет от 150 до 220 сут. (рис. 2,*б*).

В зимний период для малых тундровых рек из-за промерзания на мелководных перекатах характерно образование наледей, за счет которых происходит резкое увеличение толщины ледяного покрова на 1,0–1,5 м. В особо суровые зимы промерзают перекаты на реках с площадью водосбора до 3000–5000 км^2. Другая крайность для малых рек тундры наблюдается, если русло рек заносится снегом, – под таким покровом лед может не образоваться [Ресурсы..., 1972]. Для средних и крупных рек толщина льда к концу зимнего периода в среднем достигает 50–70 см, для бассейна р. Печора – 80–100 см.

Средние сроки окончания ледостава имеют четкое пространственное распределение по территории: в последней декаде апреля заканчивается период ледостава на реках Онега и Северная Двина, в бассейне р. Кулой и на реках в Карелии; в первой декаде мая – на реках Мудьюга, Мезень, Пеза, Пеша и на большинстве рек на Кольском п-ове; во второй декаде мая – на реках в Большеземельской тундре. На малых и карстовых реках весенний ледоход не наблюдается, лед тает на месте. Для средних и больших рек весенний ледоход наблюдается ежегодно, его средняя продолжительность составляет до 10 сут. и не зависит от площади водосбора (рис. 2,*в*).

Средние сроки очищения ото льда для рек на южном побережье Белого моря наблюдаются в начале мая, для рек на Кольском п-ове – в середине мая, а для рек бассейна р. Печора – в конце мая.

Изменение характеристик ледового режима в период вскрытия в последние годы выражается в смещении сроков окончания ледостава, вскрытия и очищения ото льда в сторону более ранних. Смещение сроков окончания ледостава составляет неделю практически для всей территории, для р. Печора с притоками – до 10 сут., для сроков вскрытия и очищения ото льда – 4–5 сут., для бассейна р. Уса – до 6 сут. (рис. 4). Изменения даты вскрытия рек статистически незначимы практически для всех постов. Отметим, что проявляется также тенденция к увеличению продолжительности вскрытия – это явление наблюдается практически на всех постах.

Изменение продолжительности ледостава и периода с ледовыми явлениями для низовьев р. Онега составляет около 10 сут., для низовьев рек Северная Двина, Мезень и Печора – 15 сут. для периода ледостава и 10 сут. для периода ледовых явлений, для рек на Кольском п-ове – 15 сут. для периода ледостава и 7 сут. для периода с ледовыми явлениями.

На средних и больших реках исследуемой территории максимальные уровни воды ежегодно наблюдаются в период весеннего половодья. Для большинства рек (за исключением карстовых) весеннее вскрытие происходит именно под действием волны половодья и возрастающих расходов воды, поэтому максимальный годовой уровень воды часто сопровождается ледовыми явлениями (рис. 5,*а*).

На реках в Карелии и на южном побережье Белого моря максимальные годовые уровни воды наблюдаются в конце апреля – первых числах мая. Примерно в половине случаев и чаще они сопровождаются ледовыми явлениями. Для отдельных участков рек (например, створ р. Шуя – гп Шуерецкое) вода в период весеннего ледохода регулярно выходит на пойму (таблица).

Для рек на Кольском п-ове максимальные уровни воды наблюдаются во второй и третьей декаде мая. Для низовьев рек Поной и Варзуга годовой максимальный уровень воды совпадает с максимальным уровнем весеннего ледохода в 70–80% случаев. В отдельные годы максимальный годовой уровень наблюдается уже после очищения ото льда, хотя в таких случаях максимальный годовой и ледоходный уровень сопоставимы, а разница обычно не превышает 0,5–1,0 м. В низовьях рек Мезень и Северная Двина максимальные уровни воды проходят в первой декаде мая, в бассейне р. Печора – в конце мая–первых числах июня. Для рек Мезень и Северная Двина максимальные годовые уровни воды сопровождаются ледовыми явлениями в 60–70%, для рек Лая, Ижма и Мудьюга – в 90–100% случаев, для створа р. Печора – гп Оксино и притоков р. Печора – ~70%.

Для р. Онега максимальный уровень воды наблюдается в среднем через 5–7 сут. после очищения от льда, при этом для гп Турчасово разница между максимальным годовым и ледоходным уровнем составляет в среднем около 2 м, в отдельные годы – до 4 м. В период весеннего половодья вода практически ежегодно выходит на пойму, при весеннем ледоходе это случается лишь в 60% случаев. Для рек на Беломоро-Кулойском плато (Котуга, Кепина,

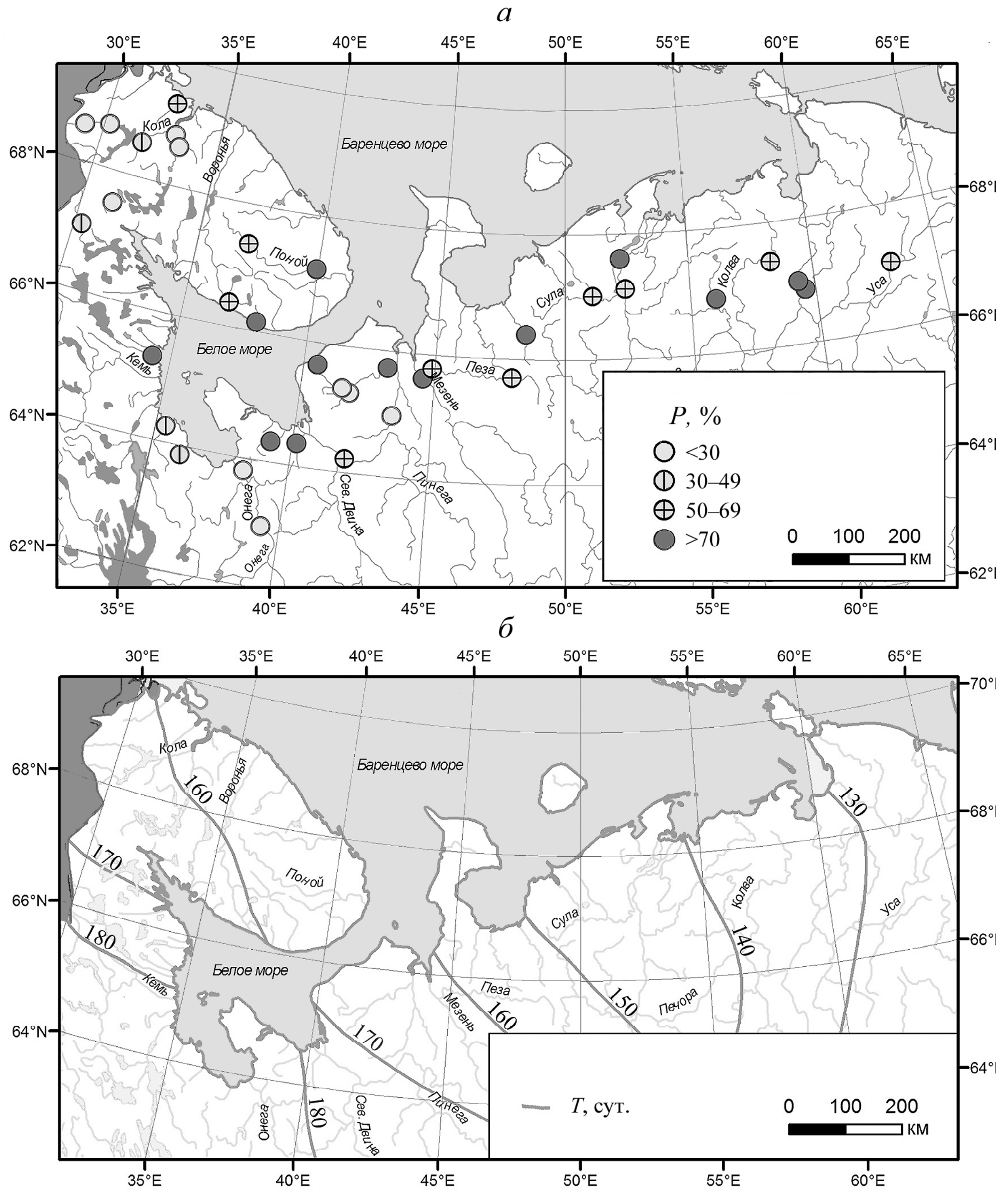

Рис. 5. Повторяемость прохождения максимальных уровней воды в период с ледовыми явлениями (*P*, %) (*а*) и продолжительность физической навигации (*T*, сут.) (*б*)

Fig. 5. Frequency of maximum water levels during the period with ice phenomena (*P*, %) (*а*) and actual duration of navigation (*T*, days) (*б*)

Кулой) весенний ледоход в большинстве случаев не наблюдается, а максимальные уровни воды чаще проходят после очищения от льда. Повторяемость прохождения максимальных уровней воды при ледоходе в настоящее время увеличилась.

Из-за суровой зимы и большого количества льда в бассейнах рек в весенний период на отдельных участках образуются заторы льда. Для рек на Кольском п-ове и в Карелии подъем уровня воды при образовании заторов ($dH_{\text{зтр}}$, см) в большинстве случаев не превышает 1,0 м. Исключение составляет створ р. Варзуга – гп Варзуга, здесь заторный подъем уровня воды достигает 3 м и более (например, в 1999 и 2013 гг.). Высокие заторные уровни воды на этом участке вызывают подтопление с. Варзуга. Мощные заторы ($dH_{\text{зтр}}$>3 м) наблюдаются также в низовьях рек Северная Двина, Мезень и Печора [Бузин, 2004; Frolova at al., 2015; Агафонова и др., 2015]. Повышение повторяемости заторов наблюдается повсеместно для всей исследуемой территории, в большей степени на побережье Белого моря. Повторяемость заторов сильнее всего возросла на реках, на которых в последние десятилетия замерзание постоянно происходит на более высоких уровнях воды.

Реки – важные транспортные артерии на севере европейской территории России. Если в Республике Карелия и в Мурманской области основные населенные пункты расположены вдоль железной дороги, то в Архангельской области и Республике Коми – вдоль рек. Транспортная доступность таких населенных пунктов зависит в том числе и от организуемых паромных переправ. Для характеристики периода, когда возможна летняя навигация, т.е. река свободна от льда, используется продолжительность физической навигации. Продолжительность этого периода в целом уменьшается при движении с запада на восток в пределах исследуемой территории: для бассейна р. Печора она составляет менее 150 сут., для низовьев рек Северная Двина и Онега – 170–180 сут., в бассейне р. Кулой – 180–190, для южного побережья Белого моря – 190 сут. и более (рис. 5,*б*).

Повторяемость выхода воды на пойму

Река	Пост	$H_п$, м БС	$P_п$, %	$P_п$ (лед), %
Кица	ст. Лопарская	101,60	100	96
Ена	пос. Ена	154,11	4	0
Тумча	пос. Алакуртти	134,26	35	0
Шуя	с. Шуерецкое	2,20	88	77
Онега	д. Турчасово	16,05	97	60
Онега	д. Порог	13,75	55	26
Северная Двина	с. Усть-Пинега	9,57	12	12
Мудьюга	д. Патракеевская	7,47	100	100
Сояна	д. Сояна	8,95	10	6
Мезень	с. Дорогорская	8,21	97	88
Пеза	д. Игумново	15,02	100	100
Пеша	д. Волоковая	11,56	97	94
Печора	с. Еремицы	7,67	100	97
Печора	с. Оксино	4,29	100	97
Хоседа-Ю	пос. Хоседа-Хард	67,08	6	3
Колва	с. Хорей-Вер	63,42	100	88
Сула	д. Коткина	13,54	94	73

Примечание. $H_п$, м БС – отметка выхода воды на пойму.

При организации судоходства и ледовых переправ наиболее проблемны два периода: 1) от появления льда осенью, когда навигация закрывается, до установления ледостава и устойчивых морозов, когда возможно строительство ледовой переправы; 2) от начала весенних ледовых процессов и закрытия ледовых переправ до очищения от льда и открытия навигации. Первый период можно охарактеризовать продолжительностью периода замерзания, второй период – продолжительностью периода очищения. Средние значения продолжительности замерзания и очищения ото льда и их пространственное распределение показано выше на рис. 2.

Для оценки ледовой опасности необходимо также учитывать изменчивость этих значений. Среднеквадратическое отклонение для продолжительности замерзания составляет до 10 сут. в низовьях бассейна р. Печора, 15–20 сут. на южном побережье Белого моря и 10–15 сут. на остальной территории исследования. Кроме того, среднеквадратическое отклонение периода замерзания для зарегулированных участков – более 25 сут. (при среднем значении 50–60 сут.). Среднеквадратическое отклонение периода очищения для значительной части территории составляет 4–5 сут., для притоков Печоры и рек на Кольском п-ове, впадающих в Баренцево море, – 7–8 сут.

В крупных городах, расположенных на островах или обоих берегах рек, сообщение между берегами стараются сохранить и в переходные осенние и весенние периоды. Например, в Архангельске для этого используются буксиры ледового класса. Особенность ледовых переправ в Архангельске – они пересекают судоходное русло Северной Двины, на которой навигация продолжается и в зимний период.

Важное значение ледовые переправы имеют и для г. Нарьян-Мар. Транспортное сообщение с городом круглогодично возможно авиационным транспортом, в летний период – по р. Печора, в зимний период – по зимнику Нарьян-Мар–Усинск, сроки эксплуатации которого тесно связаны со сроками функционирования ледовых переправ в его составе.

Выводы:

– в современных климатических условиях лед на реках исследуемой территории в среднем появляется в октябре–первых числах ноября. Средняя продолжительность периода замерзания составляет от 10 сут. для плесовых участков на средних реках до 30–40 сут. для порожистых участков рек на Кольском п-ове и озерных рек в Карелии;

– средняя продолжительность ледостава колеблется в широких пределах и составляет от 150 до 220 сут., толщина льда к концу зимнего периода в среднем достигает 50–70 см, для бассейна р Печора до 80–100 см;

– средние сроки очищения рек от льда на южном побережье Белого моря наблюдаются в начале мая, для рек на Кольском п-ове – в середине мая, а для рек бассейна р. Печора – в конце мая;

– на средних и больших реках исследуемой территории максимальные уровни воды ежегодно наблюдаются в период весеннего половодья, для большинства рек (за исключением карстовых) максимальный годовой уровень воды часто сопровождается ледовыми явлениями;

– для низовьев рек Поной и Варзуга годовой максимальный уровень воды совпадает с максимальным уровнем весеннего ледохода в 70% случаев, для низовьев рек Мезень и р. Северная Двина – в 60–70%, для рек Лая, Ижма и Мудьюга – в 90–100%, для створа р. Печора – Оксино и притоков р. Печора – ~70%, а для низовьев р. Онега – лишь в 20% случаев;

– продолжительность физической навигации для бассейна р. Печора составляет менее 150 сут., для низовьев рек Северная Двина и Онега – 170–180 сут., в бассейне р. Кулой – 180–190, для южного побережья Белого моря – 190 сут. и более;

– среднеквадратическое отклонение для продолжительности замерзания составляет до 10 сут. для низовьев бассейна р. Печора, 15–20 сут. для южного побережья Белого моря и 10–15 сут. для остальной территории, для периода очищения – 4–5 сут., для притоков р. Печора и рек на Кольском п-ове, впадающих в Баренцево море, – 7–8 сут.

– наблюдающиеся в последние десятилетия изменения характеристик ледового режима носят в основном характер тенденций и в большинстве случаев статистически незначимы. Сроки появления плавучего льда смещаются в сторону более поздних от 2 (реки на Кольском п-ове) до 9 сут. (реки в Карелии); увеличивается продолжительность замерзания и шугохода, ледостав устанавливается при более высоких уровнях воды. Изменения даты вскрытия рек статистически не значимы практически для всех постов. На востоке территории реки вскрываются раньше в среднем на 2–3 сут., на западе – на 6–7 сут., чем это происходило в 1961–1990 гг. Практически для всех постов отмечается увеличение продолжительности вскрытия. Повсеместно также наблюдается незначительное повышение повторяемости заторов льда.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта РНФ (проект № 14-37-00038).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агафонова С.А., Василенко А.Н., Фролова Н.Л. Опасность ледовых явлений на реках Арктической зоны европейской территории России // Вопросы географии. Вып. 142. М., 2016 (в печати).

Агафонова С.А., Фролова Н.Л. Влияние ледового режима рек севера европейской территории России на гидроэкологическую безопасность в условиях изменения климата // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2009. № 4. С. 55–61.

Агафонова С.А., Фролова Н.Л. Ледовый режим рек севера европейской территории России // Меняющийся климат и социально-экономический потенциал Российской Арктики. М.: Лига-Вент, 2015. С. 35–47.

Агафонова С.А., Фролова Н.Л. Особенности ледового режима рек бассейна Северной Двины // Водные ресурсы. 2006. Т. 33, № 6. С. 1–9.

Бузин В.А. Заторы льда и заторные наводнения на реках. СПб.: Гидрометеоиздат, 2004. 203 с.

Бузин В.А. Опасные гидрологические явления. Спб.: Изд. РГГМУ, 2008. 228 с.

Вуглинский В.С., Гронская Т.П. Изменения ледового режима рек и водоемов России и их возможные последствия для экономики // Современные проблемы гидрометеорологии. СПб.: Астерион, 2006. С. 229–244.

Гинзбург Б.М. Вероятностные характеристики сроков замерзания и вскрытия рек и водохранилищ Советского Союза // Тр. Гидрометцентра СССР. Вып. 118. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 116 с.

Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования / Под. ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2007. 585 с.

Донченко Р.В., Щеголева Е.В., Коробко А.С. Закономерности формирования и распространения заторов льда на реках СССР // Тр. ГГИ. Вып. 287. 1982. С. 3–15.

Донченко Р.В. Ледовый режим рек СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 246 с.

Опасные ледовые явления на реках и водохранилищах России. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015. 348 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 3. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 663 с.

Руководство по климатологической практике. Женева, 2014. 147 с.

Frolova N.L., Agafonova S.A., Krylenko I.N., Zavadsky A.S. An assessment of danger during spring floods and ice jams in the north of European Russia // Proc. IAHS. 2015. Vol. 92. P. 1–5.

Hicks F., Beltaos S. River ice // Cold region atmospheric and hydrologic stud. Vol. 2. Hydrologic Processes. Springer, 2008. P. 281–305.

River and Lake Ice Engineering / Ed. by G.D. Ashton Littleton, CO: Water Resources. 1989. 500 p.

Vuglinsky V.S. Peculiarities of ice events in Russian Arctic rivers // Hydrol. Process. 2002. Vol. 16, iss. 4. P. 905–913.

Поступила в редакцию 16.06.2016
Принята к публикации 26.07.2016

S.A. Agafonova[1], N.L. Frolova[2], A.N. Vasilenko[3], V.A. Shirocova[4]

ICE REGIME AND DANGEROUS HYDROLOGICAL PHENOMENA ON RIVERS OF THE ARCTIC ZONE OF EUROPEAN RUSSIA

The area under investigation is the Arctic region of the European part of Russia. According to the information from 74 hydrological gauging stations on 65 rivers, the characteristics of ice regime from 1961 to 2013 are described. Dates of first ice on the rivers, formation of seasonal winter ice cover, ice breakup and ice clearance were analyzed, as well as the duration of the autumn and spring ice run, freezing-up and ice-clearing periods, complete freezing period and that with ice phenomena on the rivers; characteristics of water level regime (maximum levels during the spring ice run, levels of the first ice and the complete freezing) etc. are described.

The most pronounced problems for people and economy in relation to ice phenomena on the rivers are inundations (because of ice-dam or ice-jam development), damage of hydraulic engineering structures during heavy ice run at high water levels, and also the organization of navigation and ice crossings of rivers. Ice hazards were evaluated using such indicators as frequency of floodplain flooding during the spring ice run; return period of the maximum annual water level accompanied by the ice phenomena; characteristics of ice-damming (frequency, maximum levels of water and contribution of ice-dams to their formation); actual duration of navigation, characteristics of freezing-up and ice-clearing periods.

Key words: river ice, dangerous ice phenomena, climate change, ice jam.

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project № 14-37-00038).

REFERENCES

Agafonova S.A., Frolova N.L. Ledovyj rezhim rek severa Evropejskoj territorii Rossii [Ice regime of rivers of the north of European Russia], Menjajushhijsja klimat i social'no-jekonomicheskij potencial Rossijskoj Arktiki, Moscow, 2015, pp. 35–47 (in Russian).

Agafonova S.A., Frolova N.L. Osobennosti ledovogo rezhima rek bassejna Severnoj Dviny [Specific features of ice regime in rivers of the Northern Dvina basin], Vodnye resursy, 2006, vol. 33, no 6, pp. 1–9 (in Russian).

Agafonova S.A., Frolova N.L. Vlijanie ledovogo rezhima rek severa Evropejskoj territorii Rossii na gidrojekologicheskuju bezopasnost' v uslovijah izmenenija klimata [Influence of ice regime of the northern rivers of European Russia on the hydroecological safety under the climate changes], Vestnik moskovskogo universiteta, ser. 5, geografija, 2009, no 4, pp. 55–61 (in Russian).

Agafonova S.A., Vasilenko A.N., Frolova N.L. Opasnost' ledovyh javlenij na rekah Arkticheskoj zony Evropejskoj territorii Rossii [Dangerous ice phenomena on rivers of Arctic zone of European Russia], Voprosy geografii, 2016, vyp. 142 (in Russian).

Buzin V.A. Opasnye gidrologicheskie javlenija [Dangerous hydrological phenomena], St.- Petersburg, Izd-vo. RGGMU, 2008, 228 p. (in Russian).

Buzin V.A. Zatory l'da i zatornye navodnenija na rekah [River ice-jam and floods], St.- Petersburg, Gidrometeoizdat, 2004, 203 p. (in Russian).

Donchenko R.V. Ledovyj rezhim rek SSSR [Ice regime of the rivers of the USSR], Leningrad, Gidrometeoizdat, 1987, 246 p. (in Russian).

Donchenko R.V., Shhegoleva E.V., Korobko A.S. Zakonomernosti formirovanija i rasprostranenija zatorov l'da na rekah SSSR [Regularities of formation and distribution of ice jams on the rivers of the USSR], Trudy GGI, vyp. 287, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1982. P. 3–15 (in Russian).

Frolova N.L., Agafonova S.A., Krylenko I.N., Zavadsky A.S. An assessment of danger during spring floods and ice jams in the north of European Russia // Proc. IAHS. 2015. Vol. 92. P. 1–5.

Geojekologicheskoe sostojanie arkticheskogo poberezh'ja Rossii i bezopasnost' prirodopol'zovanija [Geoecological state of the Arctic coast of Russia and safety of environmental management], Moscow, GEOS, 2007, 585 p. (in Russian).

Ginzburg B.M. Verojatnostnye harakteristiki srokov zamerzanija i vskrytija rek i vodohranilishh Sovetskogo Sojuza [Probabilistic characteristics of the time of freezing and opening of rivers and reservoirs of the Soviet Union], Trudy Gidrometcentra CCCR, vyp. 118, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1973, 116 p. (in Russian).

Hicks F., Beltaos S. River ice // Cold Region Atmospheric and Hydrologic Stud., Vol. 2. Hydrologic Processes. Springer, 2008. P. 281–305.

Opasnye ledovye javlenija na rekah I vodohranilishhah Rossii [Dangerous ice phenomena on the rivers and reservoirs of Russia], Moscow, RGAU-MSHA imeni K.A. Timirjazeva, 2015, 348 p. (in Russian).

Resursy poverhnostnyh vod SSSR [Resources of surface waters of the USSR], T. 3. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1972, 663 p. (in Russian).

River and Lake Ice Engineering / Ed. by G.D. Ashton Littleton, CO: Water Resources. 1989, 500 p.

Rukovodstvo po klimatologicheskoj praktike [Guide to climatological practices], Geneva, 2014, 147 p. (in Russian)

Vuglinsky V.S. Peculiarities of ice events in Russian Arctic rivers // Hydrol. Process. 2002. Vol. 16, iss. 4. P. 905–913.

Vuglinskij V.S., Gronskaja T.P. Izmenenija ledovogo rezhima rek i vodoemov Rossii i ih vozmozhnye posledstvija dlja jekonomiki [Change in ice regime of rivers and reservoirs of Russia and their possible consequences for the economy], Sovremennye problemy gidrometeorologii, St. -Petersburg, Asterion, 2006. P. 229–244 (in Russian).

Received 16.06.2016
Accepted 26.07.2016

[1] Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Scientific Researcher, PhD in Geography; *e-mail*: sv_andreevna@mail.ru

[2] Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Professor, D.Sc. in geography; *e-mail*: frolova_nl@mail.ru

[3] Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography Department of Land Hydrology, student; *e-mail*: saiiiia24@mail.ru

[4] S. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the Russian Academy of Sciences, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail*: shirocova@gmail.com