

ГРИЩЕНКО Ирина Васильевна

Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

адрес: 163020, г. Архангельск, ул. Маяковского, д. 2; e-mail: ovenir2011@yandex.ru

ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕДОВЫХ ПРОЦЕССОВ В УСТЬЕ р. СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ И ТЕНДЕНЦИИ ИХ РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Жизнедеятельность Архангельска – областного центра, крупного морского и речного порта – в большой степени зависит от гидрологического режима р. Северной Двины, на берегах которой он расположен. Поэтому важно знать особенности режима реки в разные сезоны года. Кроме того, требуют пристального внимания трансформации, которые происходят с ней в течение десятилетий. Они связаны с рядом факторов, одним из которых является изменение климата. В статье исследованы статистические закономерности ледовых процессов в устье р. Северной Двины, тенденции развития этих процессов на фоне изменения средней температуры воздуха. Анализ данных показывает, что повышение средней температуры воздуха уже нашло свое отражение в смещении дат ледовых явлений, в изменении характеристик льда. В частности, в XXI веке только однажды (в 2002 году) было зафиксировано раннее ледообразование. Все остальные случаи ледообразования пришлось на более поздние по отношению к норме сроки. Соответственно, и формирование ледостава происходило значительно позже. Это серьезным образом сказывается на экономике и жизнедеятельности населения в этом районе, многовековой уклад жизни которого ориентирован на более устойчивые ледовые процессы. Кроме того, возникает угроза увеличения повторяемости нагонов в осенне-зимний сезон в условиях открытого русла, которые, как правило, сопровождаются затоплением прибрежных и островных территорий в устье Северной Двины. Поэтому необходима разработка мер по адаптации к новым условиям изменяющейся окружающей среды с целью исключения или минимизации ущерба как для экономики области в целом, так и для населения.

Ключевые слова: *изменение климата, ледообразование, ледостав, осенне-зимний ледоход, толщина льда, Северная Двина.*

2014 год стал одним из самых теплых на Северном полушарии Земли в истории регулярных метеорологических наблюдений на планете. Аномалия среднегодовой температуры воздуха составила $+0,75^{\circ}\text{C}$, что на $0,02^{\circ}\text{C}$ меньше, чем в 2010 году, который принято считать самым жарким. Из десяти самых теплых лет

девять (кроме 1998 года) относятся к XXI столетию [1, с. 2].

Изменение климата, наблюдаемое в XX–XXI веках, находит свое отражение и в динамике гидрологических процессов. Меняются сроки ледообразования, установления ледостава и вскрытия рек, характер ледовых процессов.

Изучение этих тенденций особенно актуально для участков рек (например, Северной Двины), на берегах которых расположены крупные населенные пункты, такие как Архангельск, Котлас, Холмогоры и др. Как правило, расположение поселений, возникших несколько столетий назад, не всегда учитывает угрозы, связанные с режимом рек. В настоящее время в связи с экономическими, социальными, климатическими изменениями природные опасности приобретают больший масштаб. Увеличение численности населения городов и поселков, расширение территорий, отводимых под жилую и промышленную застройку, изменения в структуре экономики – все это требует учета изменений гидрологического режима водных объектов, в непосредственной близости от которых происходят эти процессы.

Материалы и методы. Для исследования тенденций гидрологического режима устья Северной Двины были использованы результаты гидрологических наблюдений по посту Соломбала и метеорологических наблюдений по станции Архангельск за период 1914–2013 годов, исторические данные по устью Северной Двины 1733–1855 годов. Обработка и анализ данных проводились с помощью прикладных программ «Персона Берег», «Персона МИС», «Climware», стандартного пакета описательной статистики.

Результаты и обсуждение. Ледовый режим рек характеризуется совокупностью повторяющихся процессов возникновения, развития и исчезновения льда. Закономерности его определяются в зависимости от климатических условий речных бассейнов, водности рек, морфологических характеристик русел и гидравлических свойств потока [2, с. 3].

Ледообразование на Северной Двине в районе г. Архангельска в среднем начинается 2 ноября. Анализ данных за последние 100 лет наблюдений показывает, что наиболее ранние даты начала ледовых процессов приходятся на 17–20 октября, причем в XXI веке самое раннее ледообразование было отмечено 23 октября 2002 года. Одной из причин, способ-

ствовавших формированию таких ранних сроков в предыдущие годы, были отрицательные аномалии средней месячной температуры октября, величина которых в 66 % случаев составила 2–3 °С.

Поздние сроки начала ледовых процессов пришлось на 22–24 ноября (1929, 1936, 1967, 2008 годы). Положительные аномалии средней месячной температуры ноября в этих случаях составили 2,4–4,4 °С. Позже всего ледообразование началось в 2005 году – 30 ноября. Средняя месячная температура воздуха в ноябре была выше нормы на 6,5 °С.

Ледостав начинает формироваться в начале ноября, средней многолетней датой его установления в районе г. Архангельска является 4 ноября. Таким образом, самый ранний срок (27 октября 1920 и 1921 годов) не слишком отклоняется от нормы. Вместе с тем поздние даты установления ледостава могут значительным образом отличаться от среднего многолетнего значения. Самая поздняя дата – 11 января 2012 года.

В среднем ледостав сохраняется в течение 162 дней.

Увеличение длительности ледостава в основном происходит за счет смещения даты его разрушения на более поздние сроки весной, а сокращение этого периода большей частью связано со смещением сроков ледостава также в сторону поздних дат, но осенью. Наиболее длительно (203 дня) сохранялся ледостав в зимний сезон 1922–1923 годов. Это связано в основном с поздней датой его разрушения весной 1923 года, когда были аномально холодными апрель (отклонение от нормы (Δ) средней месячной температуры воздуха превысило среднее квадратическое отклонение (σ) в 2 раза) и май ($\Delta \geq \sigma$).

Самый короткий период ледостава – всего 101 день ($\Delta \geq 3\sigma$) – наблюдался в зимний сезон 2011–2012 годов. Все непродолжительные периоды ледостава в XXI веке были связаны с очень крупными температурными аномалиями в ноябре (до 3–6,5 °С) и декабре (7–8 °С).

61 % случаев аномально длительных периодов ледостава (всего их было 18) пришелся на первую половину XX века, в то время как 71 % случаев аномально коротких периодов наблюдался в последние 30 лет.

Средняя многолетняя толщина льда на р. Северной Двине в районе г. Архангельска за зимний период составляет 64 см. Нарастание льда продолжается в течение всего сезона и достигает своего максимума, как правило, к концу марта – началу апреля. За период с 1934-го по 2013 год отмечено 20 зимних сезонов, в течение которых наблюдался ледостав с аномальными значениями толщины льда. При этом в 8 случаях толщина льда была аномально малой, а в 12 случаях – аномально большой.

Наименьшая толщина льда наблюдалась в зимние сезоны 1974–1975 и 1982–1983 годов, когда она составила в среднем 42 и 44 см соответственно. При этом в конце февраля 1983 года толщина льда составляла всего 27 см. В обоих случаях в декабре и январе средняя месячная температура воздуха была на 3–4 °C выше нормы.

Наибольшая толщина льда в устье Северной Двины была отмечена в зимний сезон 1984–1985 годов и составила 101 см ($\Delta \geq 3\sigma$). В течение четырех зимних сезонов толщина льда превышала среднее многолетнее значение на 16–21 см. Все эти случаи были связаны с суровыми зимами, когда значения средней месячной температуры в декабре–феврале были ниже нормы на 6–13 °C.

Весенний ледоход на р. Северной Двине, как правило, начинается в середине апреля. К концу апреля – началу мая он проходит через Архангельск. Средняя многолетняя дата начала ледохода в районе г. Архангельска – 2 мая.

Наиболее ранние даты начала ледохода приходятся на последнюю пятидневку второй декады апреля: 17 апреля 1951 года, 18 апреля 1920 года, 19 апреля 1921 и 1983 годов. Как правило, ранние сроки разрушения льда (17–28 апреля) связаны с формированием антициклона над территорией Европейско-

го Севера и интенсивной адвекцией теплых воздушных масс по его юго-западной периферии с районов Черного моря и Казахстана. Отклонения от нормы средней месячной температуры апреля в этих случаях составляет 2–5 °C.

Наиболее поздние даты начала разрушения льда в устье Северной Двины: 21 мая 1942 года, 17 мая 1940 года, 16 мая 1929 и 1962 годов. С конца 80-х только однажды (11 мая 1998 года) ледоход начался в относительно поздний срок. Годы с поздними сроками начала ледохода (10–15 мая) характеризовались холодными апрелеми, когда средняя месячная температура воздуха была ниже нормы на 2–5 °C. В случаях аномально поздних сроков ледохода был холодным и май (на 2–3 °C ниже нормы).

Обработка исторических данных 1733–1855 годов [3, с. 3] выявила, что вскрытие р. Северной Двины в районе г. Архангельска происходило в сроки более поздние по сравнению с XX–XXI веками. Средней многолетней датой вскрытия реки было 13 мая. В этот период, который характеризуется как малая ледниковая эпоха, нередко в июне выпадал снег. Самая поздняя дата начала ледохода в Архангельске приходится на 7 июня 1814 года, когда в летописях в Архангельске отмечалась «необычайно морозная зима. Необычайно поздняя весна» [4, с. 410].

Наблюдаемое изменение климата прежде всего характеризуется изменениями температуры воздуха, что находит свой отклик и в поведении водных объектов. Исследование рядов значений средней месячной температуры воздуха в районе Архангельска и рядов данных по некоторым характеристикам ледовых процессов подтверждает определенную связь между тенденциями изменения этих параметров.

Линейный тренд по средней месячной температуре воздуха, построенный для двух метеорологических станций, расположенных в непосредственной близости от устья Северной Двины (Архангельск и Холмогоры),

показывает одинаковые тенденции, а именно существенное увеличение коэффициента уравнения тренда (α) в последние 30 лет в ноябре–декабре до $1,5 \dots 1,8 \text{ } ^\circ/10 \text{ лет}$ по сравнению со 100-летним рядом наблюдений (табл. 1).

шение кривой отклонений температуры воздуха от нормы с кривой дат ледообразования и построение линейного тренда показывает, что изменения этих параметров носят однонаправленный характер (рис. 1).

Таблица 1

**КОЭФФИЦИЕНТ (α) ЛИНЕЙНОГО ТРЕНДА СРЕДНЕЙ МЕСЯЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА
ВБЛИЗИ УСТЬЯ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ, $^\circ/10 \text{ лет}$**

Метеорологическая станция, период	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
Архангельск, 1913–2014	0,0	0,0	0,0	–0,1	0,0	0,3	0,1
Архангельск, 1983–2014	0,4	1,5	1,8	1,3	–0,2	–1,0	0,5
Холмогоры, 1913–2014	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,1
Холмогоры, 1983–2014	0,4	1,8	1,8	1,3	–0,1	–1,0	0,6

На фоне такого повышения средней температуры воздуха в осенне-зимний период наблюдается тенденция переноса сроков ледообразования на более поздние даты. совме-

Уравнение линейного тренда для даты начала ледовых явлений в районе г. Архангельска (период 1972–2012 годов) имеет вид:

$$y = 0,4552x - 597,91 \quad R^2 = 0,2749.$$

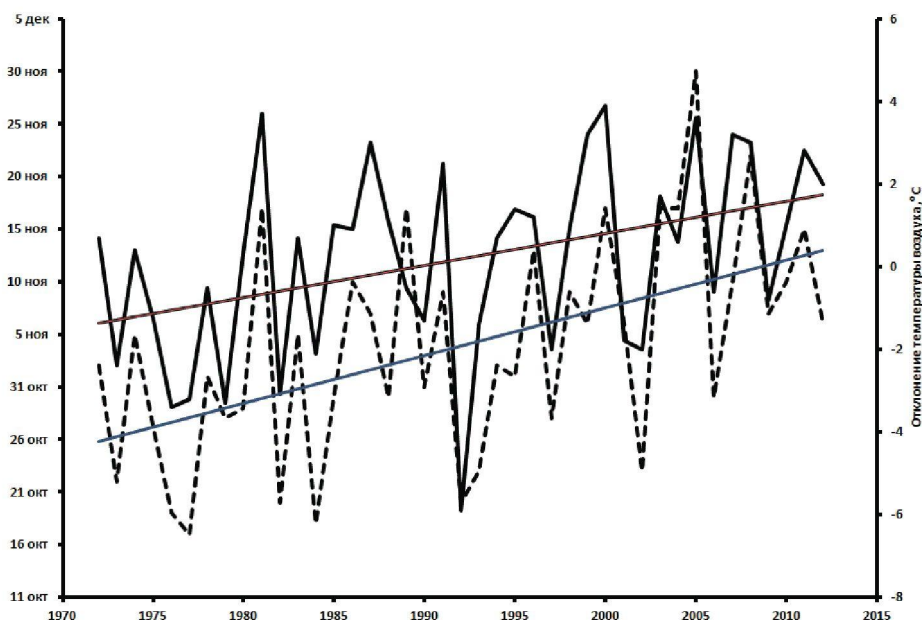


Рис. 1. Сроки начала ледовых процессов (пунктирная линия) и отклонения средней температуры воздуха от нормы (сплошная линия) в районе г. Архангельска: красным цветом выделен линейный тренд ледообразования, синий – отклонения температуры

Из-за повторения anomalно теплых осенне-зимних сезонов усиливается тенденция возникновения ледоходов в ноябре–декабре. В XXI веке такие явления на территории Европейского Севера уже наблюдались дважды – в ноябре–декабре 2005 года и ноябре 2013 года.

Более позднее начало ледообразования, а значит и установления ледостава, ведет к сокращению продолжительности ледостава. Если коэффициент линейного тренда по этому параметру, построенного за 100-летний период наблюдений (сплошная линия), составил –3 дня/10 лет, то для последнего 30-летия (пунктирная линия) этот коэффициент равен –7 дней/10 лет (рис. 2).

Наблюдается незначительная тенденция уменьшения толщины ледового покрова. Уравнение линейного тренда для периода наблюде-

ний за толщиной льда 1934–2013 годов имеет вид:

$$y = -0,1024x + 68,488 \quad R^2 = 0,06.$$

Таким образом, на настоящем историческом отрезке времени повышение средней температуры воздуха уже привело к изменениям гидрологических характеристик устья Северной Двины. Эти изменения проявляют себя и в XXI веке.

Наблюдаемые изменения климата в целом и гидрологического режима рек в частности определенным образом сказываются на жизнедеятельности населения и экономике как положительно, так и отрицательно.

Сокращение продолжительности ледовых явлений в устьевой области Северной Двины повышает угрозу увеличения повторяемости нагонов, а значит и риск затопления прибреж-

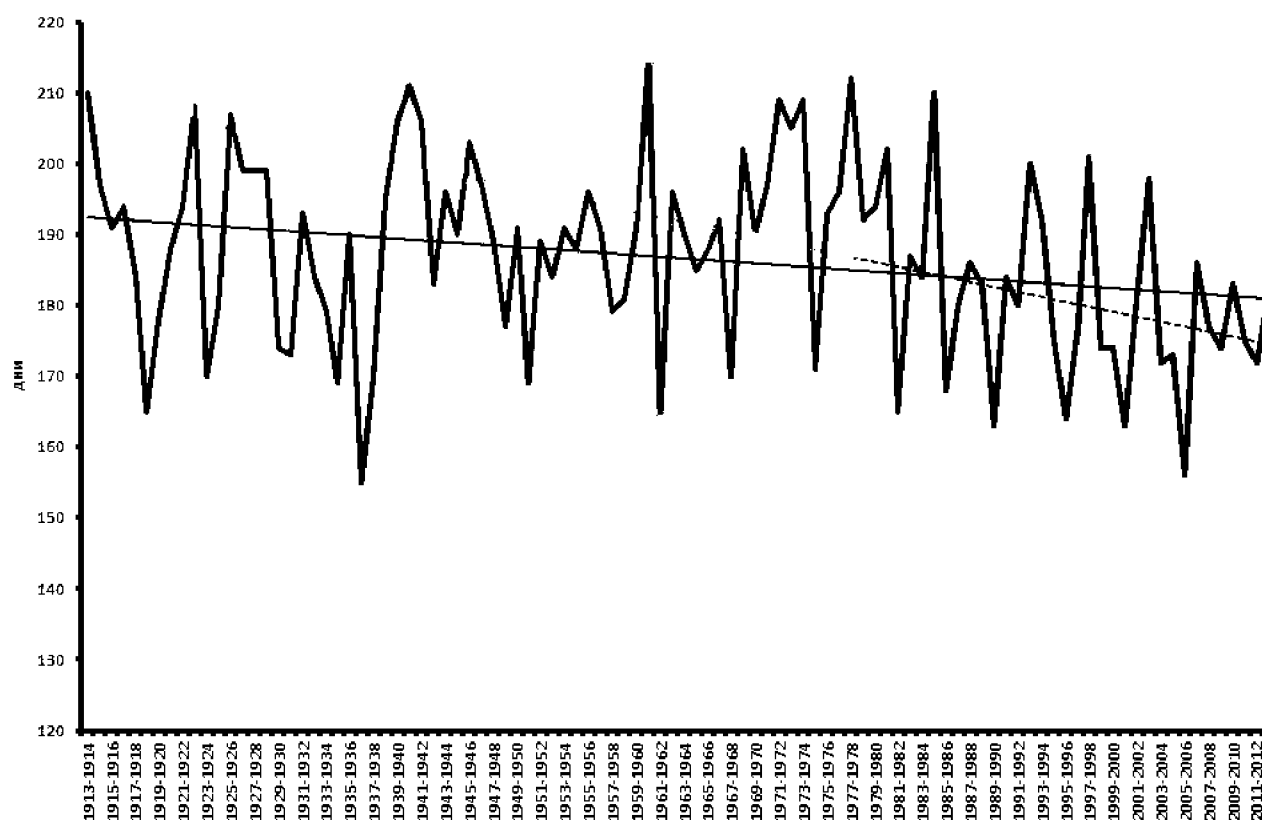


Рис. 2. Продолжительность ледостава в районе Архангельска (периоды 1914–2013 и 1984–2013 годов)

ных и островных территорий, освоенных местным населением (постоянное проживание, строительство дачных поселков). Поскольку нагоны большей частью происходят в осенний период, ущербы на фоне пониженных температур воздуха становятся более ощутимыми.

Смещение сроков начала ледообразования на более поздние позволяют увеличить период интенсивных перевозок грузов, что положительно сказывается на финансовом состоянии судоходных компаний, занятых этими перевозками.

С другой стороны, такая ситуация не очень выгодна для городского бюджета, поскольку перевозки пассажиров, проживающих на многочисленных островных территориях, находятся на дотации города. Растут расходы по этой статье, и только раннее установление ледостава их сокращает. Такая же проблема существует и на других реках в связи с тем, что на территории Архангельской области они по-прежнему остаются основными транспортными артериями.

Негативное влияние на экономику области оказывают случаи формирования ледоходов в осенне-зимний период, когда нарушается сложившийся веками уклад жизни населения. Приходится привлекать дополнительные финансовые средства на обеспечение грузовых и пассажирских перевозок водными транспортными средствами, поскольку в этот момент не действуют традиционные для этого времени года ледовые переправы.

Кроме того, аномальное развитие ледовых процессов в осенне-зимний период из-за образования многочисленных заторов и зажоров значительным образом усложняет прохождение весеннего ледохода и повышают угрозу уже весенних наводнений.

Уменьшение толщины льда имеет большое значение для планирования работы ледоколов в весенний период, в особенности в устье Северной Двины. Ледоколы проводят спуск льда с целью снижения угрозы затопления города и островов в период ледохода. Менее тяжелые ледовые условия работы ледоколов позволяют экономить финансовые расходы по эксплуатации ледокольного флота.

Все это говорит о том, что традиционный уклад экономики региона и жизни местного населения требует разработки адаптационных мер с целью снижения экономических ущербов.

Заключение. Совместный анализ гидрологических и метеорологических данных, полученных на наблюдательных пунктах сети Росгидромета в районе г. Архангельска, показывает, что тенденции отклонения средней температуры воздуха от нормы и изменения дат ледообразования носят однонаправленный характер. Более позднее начало ледовых явлений сокращает продолжительность ледостава. В условиях повышения средней температуры воздуха наблюдается тенденция незначительного уменьшения средней толщины льда.

Список литературы

1. Основные погодно-климатические особенности Северного полушария Земли в 2014 году: экспресс-анализ. М., 2015. 64 с.
2. Донченко Р.В. Ледовый режим рек СССР. Л., 1987. 247 с.
3. Зарубин А.И. Исследования и выводы климата Архангельска и различных гидрографических обстоятельств реки Северной Двины и Белого моря: сб. оттисков из Архангельских губернских ведомостей, 1855–1862. Архангельск, 1862. 21 с.
4. Борисенков Е.В., Пасецкий В.М. Летопись необычайных явлений природы за 2,5 тысячелетия. СПб., 2003. 535 с.

References

1. *Osnovnye pogodno-klimaticheskie osobennosti Severnogo polushariya Zemli v 2014 godu: ekspress-analiz* [Basic Weather and Climatic Features of the Northern Hemisphere in 2014. Rapid Analysis]. Moscow, 2015. 64 p.
2. Donchenko R.V. *Ledovyy rezhim rek SSSR* [Ice Regime of the Rivers of the USSR]. Leningrad, 1987. 247 p.
3. Zarubin A.I. *Izsledovaniya i vyvody klimata Arkhangel'ska i razlichnykh gidrograficheskikh obstoyatel'stv reki Severnoy Dviny i Belogo morya: sb. ottiskov iz Arkhangel'skikh gubernskikh vedomostey, 1855–1862* [Research and Conclusions of the Climate of Arkhangelsk and Various Hydrographic Circumstances of the Northern Dvina River and the White Sea: Prints Collection from the Arkhangelsk Provincial Gazette]. Arkhangelsk, 1862. 21 p.
4. Borisenkov E.V., Pasetskiy V.M. *Letopis' neobychnykh yavleniy prirody za 2,5 tysyacheletiya* [Chronicle of Extraordinary Natural Phenomena for 2.5 Millennia]. St. Petersburg, 2003. 535 p.

doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.1.5

Grishchenko Irina Vasil'evna

Northern Department of the Service on Hydrometeorology and Environmental Monitoring
Mayakovsky str., 2, Arkhangelsk, 163020, Russian Federation;
e-mail: ovenir2011@yandex.ru

CHARACTERISTICS OF ICE PROCESSES IN THE NORTHERN DVINA RIVER ESTUARY AND THEIR DEVELOPMENT TRENDS IN A CHANGING CLIMATE

The activity of the regional centre and the large sea and river port Arkhangelsk to a large extent depends on the hydrological regime of the Northern Dvina River. Therefore it is important to know the river regime features in different seasons of the year. In addition, the changes occurring in the river for decades require close attention. These changes are associated with a number of factors, one of which is a climate change. The paper investigates the statistical regularities of ice processes in the estuary of the Northern Dvina, the development trends of these processes against the background of the mean air temperature changes. The data analysis shows that the increase of the mean air temperature has been reflected in the shift of the dates of ice phenomena and in a change of the ice characteristics. In particular, in the twenty-first century the only early ice formation (in 2002) was observed. All other cases of ice formation occurred at the later periods with respect to the norm. Accordingly, the freeze-up formation occurred much later. These phenomena affect seriously on the economy and activity of the population in the area, as its centuries-old style of life has been focused on the more stable ice processes. In addition, there is a risk of increasing of fetch frequency in autumn and winter in a free flowing channel which is usually accompanied by flooding of coastal and insular areas at the estuary of the Northern Dvina. Therefore, we need to develop the measures to adapt to the new conditions of a changing environment in order to avoid or minimize the economic and societal damage of the region.

Keywords: climate change, ice formation, freeze-up, autumn and winter ice drift, ice thickness, the Northern Dvina.