

Современный и будущий ледовый режим рек Арктической зоны России

Василенко А.Н.

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва

saiiia24@mail.ru

Аннотация: Для территории России, расположенной севернее 60 с.ш. оценены современные характеристики различных фаз ледового режима и их изменения по сравнению с периодом 1950-1980 гг, отражающим состояние климата до начала его изменений. Также проводится оценка будущего ледового режима рек Арктической зоны России на середину и конец XXI в. В работе используются данные гидрологических постов за период с 1950 по 2014 гг, данные климатического реанализа TCR Национального агентства по океану и атмосфере (США), а также результаты реализации сценария RCP 8.5 различными климатическими моделями международного проекта CMIP5. Изменения современного ледового режима выражаются в сокращении периода с ледовыми явлениями и периода ледостава, а также увеличении продолжительности периода вскрытия рек. К середине и концу XXI ожидается их дальнейшее сокращение и увеличение соответственно.

Ключевые слова: ледовый режим, ледовые явления, изменения климата.

Введение

В климатических условиях России ледовые явления распространены на реках практически повсеместно. Зачастую они выступают лимитирующим фактором безопасности населения и сохранности объектов инфраструктуры. Из-за ряда ледовых явлений, к примеру, может нарушаться эксплуатация водозаборов и различных транспортных переходов, производится разрушение гидротехнических сооружений, ограничиваются сроки навигации водного транспорта. Ряд опасных гидрологических явлений, в том числе наводнений, формируется, также, с участием ледовых явлений.

Климат арктической зоны России, претерпевает в настоящее время наиболее значительные на территории России изменения (Второй оценочный доклад, 2014). Ледовый же режим рек, как отмечено в (Prows et al, 2002), является одним из наиболее чутких индикаторов климатических изменений.

В настоящей работе под Арктической зоной будем иметь в виду сухопутные территории России, расположенные севернее 60° с.ш.

Описываемые территории обладают огромными гидрологическими ресурсами. Здесь расположены нижние течения и устья рек: Онега, Северная Двина, Мезень, Печора, Обь, Енисей, Хатанга, Анабар, Оленек, Лена, Яна, Индигирка, Колыма, Анадырь, а также множество бассейнов больших, средних и малых рек.

Гидрологический режим рек различен. Они имеют преобладающее снеговое питание. Половодье проходит с мая на западе территории и до июля на востоке. Повсеместно половодье длится месяц и более и может осложняться дождевыми паводками. Для севера европейской территории России (ЕТР) и для западной Сибири характерны летние и осенние дождевые паводки. Минимальный сток приходится на зимнюю межень. С запада на восток его величина по сравнению со стоком летней межени уменьшается вплоть до полного прекращения.

С запада на восток арктической зоны наблюдаются различные природно-климатические условия. От умеренного морского климата на севере Кольского полуострова до резко-континентального на побережье морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. От низменных облесенных равнин севера ЕТР и низменных же тундр полуостровов Ямал и Гыдан до горных тундр северо-востока Сибири. Значительное распространение имеют болота и озера. Их число уменьшается с запада на восток. На всей

территории, за исключением большей части Республики Карелия и Архангельской области, а также горных районов, распространены многолетнемерзлые породы.

Таким образом, формируются различные условия образования, развития и разрушения ледовых явлений на реках арктической зоны России.

В условиях освоения ресурсной базы Арктики, происходящие трансформации ледового режима могут быть использованы для минимизации всех видов издержек (Козлов и др., 2015), связанных с гидрологической безопасностью территорий, что в свою очередь ведет к удешевлению развития арктической зоны нашей страны.

Материалы и методы

Для анализа происходящих изменений ледового режима рек были использованы данные 163 гидрологических постов (рис. 1), расположенных на реках, имеющих различную площадь водосбора: от первых сотен (р. Сосновка, Кольский полуостров), до сотен тысяч (р. Лена) квадратных километров, и расположенных на всей территории арктической зоны России. Стоит отметить, что с запада на восток количество постов убывает, а плотность их расположения уменьшается.

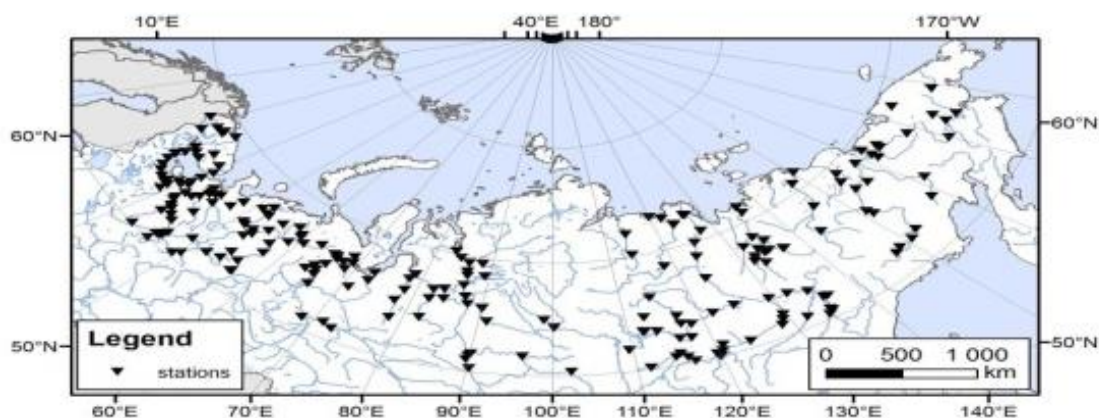


Рис. 1 Исследуемая территория и рассматриваемые в работе гидрологические посты

Для сопоставления использовались осредненные данные за периоды 1950-1980 гг. и 1981-2014 гг. Пропуски в наблюдениях и короткие ряды были восстановлены с использованием метода гидрологической аналогии по данным постов, расположенных в сходных физико-географических условиях.

Наличие значимых различий между средними значениями в выборках определялось с использованием критерия Манна-Уитни. Все ряды данных также были проверены на отсутствие значимых трендов с использованием критерия Спирмена.

Сравнение проводилось для характерных дат ледового режима: появления льда, замерзания, вскрытия и очищения, а также для продолжительности периодов с ледовыми явлениями, замерзания, ледостава, вскрытия и очищения. Кроме того, в качестве параметра изменчивости сравнивались среднеквадратические отклонения рядов рассматриваемых характеристик.

Для оценки будущих характеристик фаз ледового режима использовались связи его характерных дат с датами устойчивого перехода температур воздуха через 0°C . Для определения последней характеристики использовался принятый в метеорологических исследованиях метод Д.А. Педя (Педь, 1951). Необходимые для его применения суточные характеристики температуры воздуха за каждый год извлекались из узлов сетки реанализа TCR, имеющей ячейки величиной $1,9 \times 1,9$ градуса. Использовались данные ближайших к гидрологическим постам узлов сетки. Затем строилась простая линейная модель, связывающая характерную дату ледового режима и дату осеннего, либо весеннего

перехода температуры воздуха через 0 °С. Данные об устойчивом переходе температуры воздуха через 0 °С в середине и конце XX в. были получены из результатов расчета сценария RCP 8.5 проекта CMIP.

Результаты и обсуждение

Появление первого льда на реках в виде шуги и заберегов в среднем происходит в современных условиях на протяжении октября по всей территории Арктической зоны. Наиболее рано, в первых числах месяца, лед начинает образовываться в северной и северо-восточной Якутии, а также на Чукотке, в начале второй декады начинается ледообразование на реках Западной Сибири и в бассейне р. Енисей, а в последних числах месяца первый лед отмечается на Севере ЕТР. На крупных реках лед устанавливается позже, чем на малых, особенно это проявляется на р. Лена, где запаздывание составляет 7-10 дней.

Величина изменений за последние 30 лет растет с востока на запад, с севера на юг, в сторону более поздних дат. При этом в Восточной Сибири и на северо-востоке страны изменения минимальны и составляют в среднем 2-3 дня. Западнее бассейна р. Енисей наблюдается увеличение величины изменений до 4-6 дней. Максимальные изменения отмечаются на Севере ЕТР, на правых притоках р. Печора. Аналогично фактическим изменениям трансформируется и среднее квадратическое отклонение от изменения этой величины менее чем 1 в Восточной Сибири и на Северо-Востоке до 1 на западе Архангельской области. В абсолютных единицах среднее квадратическое отклонение сроков появления льда составляет от 3-5 в Восточной Сибири до 10-11 на Севере ЕТР.

Продолжительность замерзания составляет для рек арктической зоны в среднем от 10 до 14 дней. Соответственно, средние даты установления ледостава смещаются на более поздние с востока на запад, с севера на юг, как и даты появления льда. При этом географическое распределение дат замерзания в Восточной Сибири и на северо-востоке более субшироотно, чем аналогичное для дат появления льда. Климатические изменения привели к наступлению замерзания в более поздние сроки в последние 30 лет. Наименьшие изменения произошли на северо-востоке (1 день) и в Восточной Сибири (1-2 дня). Несколько более значимые изменения наблюдаются в Западной Сибири (3 дня). Наиболее значимые в Поморье (до 5 дней). Среднее квадратическое отклонение сроков замерзания рек лежит в границах от 3-5 в Восточной Сибири до 15-17 на юге Карелии и Архангельской области.

Продолжительность ледостава на реках арктической зоны России в последние 3 десятилетия убывает на срок от нескольких дней в северо-восточных районах до 3 недель в бассейнах рек Мезень и Печора. Тем не менее, она продолжает в большей части случаев превышать полугодовой период. Наиболее длительный ледостав наблюдается на реках полуостровов Таймыр и Чукотский – до 9 месяцев. Наименее длительный ледостав наблюдается на юге Карелии – 5 месяцев.

Ледоход в Арктической зоне начинается на юге Карелии и западе Архангельской области в последних числах апреля. В первой декаде мая вскрываются большинство рек севера ЕТР, кроме территорий севернее Северных Увалов. К середине второй декады мая вскрываются практически все реки севера ЕТР и реки Кольского полуострова. В третьей декаде этого месяца вскрываются реки Восточной Сибири. Наиболее поздние сроки вскрытия наблюдаются в северо-восточной Якутии и на Таймыре.

Смещение на более ранние даты составляет по восточной Сибири 2 дня, по Западной Сибири – 4 дня, по Северу ЕТР – до 5 дней. Среднее квадратическое отклонение сроков вскрытия составляет от 9 на Севере ЕТР и в Западной Сибири до 5 на Чукотке и 7 на Кольском полуострове и в Карелии. При этом на Севере ЕТР изменчивость даты начала ледохода уменьшается.

Очищение рек ото льда происходит в среднем за 1 неделю по всей территории. Наблюдается увеличение продолжительности периода вскрытия от юго-запада севера ЕТР на северо-восток (от 1 дня до 2 недель), а также с юга на север на сроки тех же порядков в Сибири и на северо-востоке. Наибольшая продолжительность вскрытия наблюдается на

средних реках с горными водосборами. Географическая зональность сроков очищения практически совпадает с зональностью сроков вскрытия рек. Смещение на более ранние даты в среднем невелики и составляют от 5 дней на Кольском полуострове и в Карелии до 1 дня на севере Якутии. При этом, вариабельность этой характеристики на Севере ЕТР несколько уменьшается.

Табл. 1 Современные характеристики дат различных фаз ледового режима рек и их изменения за период 1981-2014 гг. по сравнению с периодом 1951-1980 гг.

Регион	Дата появления льда				Дата замерзания			
	Среднее	δ	Δ дат	$\Delta \delta$	Среднее	δ	Δ дат	$\Delta \delta$
Кольский	25 окт	10	4	-1	7 ноя	18	1	3
Карелия	1 ноя	11	5	0	19 ноя	16	5	1
Север	25 окт	11	6	2	8 ноя	14	5	2
Зап.Сибирь	12 окт	7	4	2	21 окт	8	3	1
Енисей	12 окт	6	2	1	25 окт	7	2	1
Якутия	1 окт	5	2	0	11 окт	5	2	0
Северо-Восток	3 окт	6	3	0	16 окт	6	3	0
Регион	Дата начала ледохода				Дата очищения ото льда			
	Среднее	δ	Δ дат	$\Delta \delta$	Среднее	δ	Δ дат	$\Delta \delta$
Кольский	11 май	7	-5	-2	14 май	8	-5	-2
Карелия	27 апр	7	-2	0	2 май	7	-5	-2
Север	11 май	9	-3	-2	13 май	8	-3	-2
Зап.Сибирь	27 май	9	-4	2	31 май	9	-4	2
Енисей	24 май	8	-4	2	2 июн	7	-3	2
Якутия	31 май	6	-2	1	4 июн	5	-1	1
Северо-Восток	25 май	5	-2	0	29 май	5	-3	0

Суммарная продолжительность периода с ледовыми явлениями на реках сокращается на срок от 10 дне на Севере ЕТР до недели в Западной Сибири и в бассейне р. Енисей и до 3-5 дней в северной Якутии и на Чукотке. При этом возрастающая продолжительность осенних и весенних ледовых явлений, в частности процессов вскрытия реки, приводит к усложнению водопользования в осенний и весенний периоды. Важно также отметить, что при вскрытии рек увеличилась повторяемость опасных ледовых явлений, таких как заторы льда и прохождение ледохода при высоких уровнях воды. Наибольшее учащение произошло на севере ЕТР.

Современные характеристики ледового режима рек Арктической зоны и их изменения за последние 30 лет по сравнению с периодом до начала климатических изменений отражены в таблице 1.

Характеристики будущего ледового режима были оценены в первую очередь для Севера ЕТР и Западной Сибири, как района Арктической зоны, в котором ледовый режим претерпевает наибольшие изменения.

Сделанная оценка показала смещение дат появления льда к середине века на первые числа ноября и на середину второй декады этого месяца к концу столетия. Установление же ледостава, по оценке, смещается на конец ноября-начало декабря в пределах 1 недели к концу XXI в. В середине же века эта дата ожидается во второй декаде ноября.

Вскрытие же рек ожидается на неделю раньше, чем в современных условиях к 2050 г и на 2 недели раньше к 2100 г. Продолжительность периода с ледовыми явлениями, таким образом, может сократиться на срок от 2-3 недель до 1,5 месяцев.

Выводы

В современных климатических условиях наблюдается сокращение периода ледовых явлений на реках Арктической зоны России на срок от нескольких дней на востоке до

недели и более на западе. При этом наблюдается увеличение периода замерзания и вскрытия рек, что осложняет возможности хозяйственного освоения речных долин. Кроме того, наблюдается увеличение повторяемости опасных ледовых явлений.

Сделанные оценки показывают возможность сокращения периода с ледовыми явлениями на срок от нескольких недель до 1,5 месяцев по всей рассматриваемой территории.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 14-17-00155П. Выражаю благодарность своему научному руководителю профессору д.г.н. Фроловой Н.Л и научному сотруднику кафедры гидрологии суши к.г.н. Агафоновой С.А.

Список литературы

Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М., 2014. Основной том. 1009 с.

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.; Под общей ред. проф., д.т.н. Д.В. Козлова. М.:Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. 2015. 348 с.

Педь Д.А. Об определении дат устойчивого перехода температуры воздуха через определенные значения // Метеорология и гидрология, 1951. № 10. С. 38–39.

Prowse Terry D., Beltaos Spyros (2002) Climatic control of river-ice hydrology: a review //– Hydrological Processes. V.16: 805-822. DOI: 10.1002/hyp.369

Modern and future ice regime of rivers of the Arctic zone of Russia

Vasilenko A.N.

Lomonosov Moscow State University, Moscow

saiiia24@mail.ru

Abstract: The ice regime of river is one of the most sensible element of hydrosphere to climate changes. Besides it is one of the reason of dangerous hydrological events. This paper is devoted to modern characteristics of ice regime and to its changes last 30 years, after the beginning of climate changes and to projection of future characteristics of river ice regime.

Keywords: ice regime, ice events, climate changes