

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА РЕКАХ БАССЕЙНА СРЕДНЕЙ ЛЕНЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Н.И. Горошкова<sup>1</sup>, канд.техн.наук, А.В. Стриженок<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## VARIABILITY OF CHARACTERISTICS OF ICE PHENOMENA ON RIVERS IN THE MIDDLE LENA BASIN UNDER CLIMATE CHANGE

N.I. Goroshkova<sup>1</sup>, Cand.Sc., A.V. Strizhenok<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*Объект исследования-заторы льда, обусловленные ими наводнения на реках бассейна Средней Лены. Анализ изменения вкладов затороформирующих факторов в условиях происходящего изменения климата. Результаты исследований предназначены для использования в оперативной работе региональных центров Росгидромета Восточной Сибири.*

*The object of the study is ice-jams on rivers in the Middle Lena basin and floods caused by them. Variability of contribution of different ice-jams formation factors under the current climate change was analyzed. The study results are for use in operating activities at regional centers of Roshydromet in the Eastern Siberia.*

Зимой на реках России наблюдается ледяной покров, а сопровождающие его образование и разрушение процессы и явления достаточно часто обуславливают чрезвычайные ситуации - осенние зажоры и возникающие при прохождении весеннего половодья заторы, когда при большей водности реки в ней скапливаются массы льда, в результате чего резко уменьшается водопропускная способность русла. Заторы приводят к резким подъемам уровня воды и затоплению обширных территорий. Почти на половине речных гидрологических постов наивысшие уровни воды отмечены при заторах льда. Убытки от заторных наводнений нередко составляют десятки миллиардов рублей [1,2].

Реки, являясь продуктом климата, обладают инерционностью и не сразу реагируют на происходящие в их бассейнах изменения, в том числе климатические. Исследования влияния потепления климата на такие характеристики ледового режима рек, как наибольшая толщина льда, продолжительность периода ледостава, даты начала и окончания ледостава, максимальные уровни начала ледостава, ледоходов, заторов льда, а также максимальные годовые уровни необходимы для разработки и усовершенствования методик прогноза заторных наводнений, оценки зон затопления в период затора и прохождения весеннего половодья, воздействия ледяных полей на гидротехнические сооружения.

Во втором оценочном докладе Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [3] показано, что характеристики криосферы уже откликаются на потепление климата, и это проявляется в сокращении площади снежного покрова, уменьшении толщины морского льда на 23% [1]. Вечная мерзлота также начинает оттаивать за счет увеличения температуры почвы в слое до 3 м [4].

Исследуемый район - центральная и южная части Якутии, где отмечается наиболее значительное повышение температуры, особенно в холодный период [5]. На рис.1 представлен хронологический график хода средней зимней температуры воздуха по м.ст Якутск, из которого видно, что температура растет, особенно, с конца 1980х годов. Аналогичная закономерность роста зимних температур имеет место и на большинстве метеостанций республики Саха (Якутия) [6].

Для исследования влияния изменений климата на характеристики ледового режима были использованы данные по 11 гидрологическим постам в бассейне Средней Лены (таблица 1). Наблюдения за толщиной ледяного покрова начаты с 1950 года, поэтому их продолжительность, в основном, составляет 67 лет с началом наблюдений в 1950 г. и окончанием в 2016-17 гг.

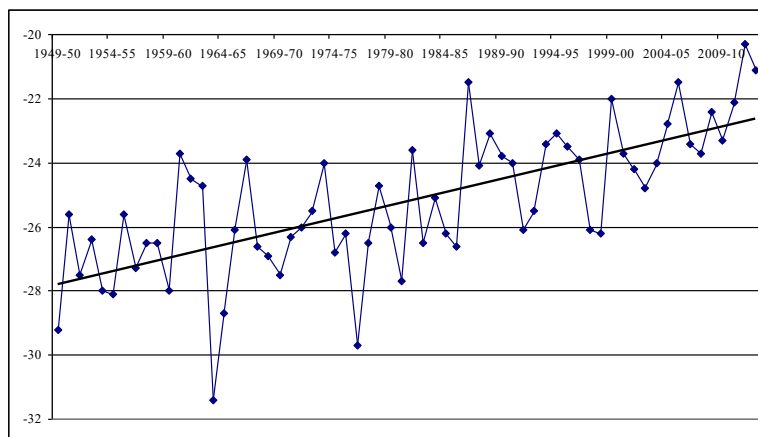


Рис. 1. Хронологический график хода средней зимней температуры воздуха на метеостанции Якутск

Таблица 1. Характеристики пунктов и периоды наблюдений

Код поста	Река-пункт	Широта	Долгота	Период	Число лет набл.	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>
3035	Лена - Олекминск	60,36	120,4248	1950-2017	68	560000
3045	Лена - Якутск	62,0127	129,8554	1962-2016	55	904000
3047	Лена - Кангаласцы	62,3478	130,0346	1950-2016	67	912000
3168	Олекма - Джекимдэ	59,031	121,7665	1955-2016	62	109000
3169	Олекма - Куду-Кёль	59,455	121,3242	1950-2016	67	115000
3172	Нюкжа - Лопча	55,7582	122,7238	1963-2016	54	20500
3180	Чара - Токко	59,9923	119,8437	1950-2016	67	62500
3219	Алдан - Томмот	58,9617	126,2749	1950-2016	67	49500
3225	Алдан – Охот.Перевоз	61,868	135,4879	1950-2016	67	514000
3248	Тимптон - Усть-Тимптон	58,6704	121,0342	1953-2016	64	43700
3264	Учур - Чюльбю	57,8615	131,1177	1954-2017	64	108000

Методика оценки изменений основана на применении статистических критериев оценки стационарности дисперсий (критерий Фишера) и средних значений (критерий Стьюдента) для двух частей временного ряда [7]. Рассматривались такие основные характеристики ледового режима рек как: наибольшая толщина льда за период ледостава ( $h_{\text{макс}}$ ), продолжительность периода ледостава в днях ( $T_{\text{лед}}$ ), даты начала ( $T_{\text{нач}}$ ) и окончания ( $T_{\text{кон}}$ ) ледостава. Результаты оценки стационарности дисперсий и средних значений за два полупериода по критериям Фишера и Стьюдента соответственно приведены в таблице 2, где знаком “+” отмечено принятие гипотезы стационарности при уровне значимости  $\alpha=5\%$ , знаком “-” – отклонение гипотезы при  $\alpha=1\%$ , а “(+)” – область условного принятия гипотезы стационарности при уровне значимости, соответствующем расчетному значению статистики критерия в диапазоне  $3\% \leq \alpha < 5\%$  и “(-)” – область условного отклонения гипотезы стационарности при уровне значимости, соответствующем расчетному значению статистики критерия в диапазоне  $1\% \leq \alpha < 3\%$ . В случае условного принятия или отклонения гипотезы стационарности в таблице 2 приводится также и уровень значимости, соответствующий расчетному значению статистики критерия.

Из таблицы 2 следует, что стационарными можно считать только многолетние ряды наибольшей толщины льда на реках. Для рядов остальных характеристик ледового режима гипотеза стационарности средних значений отклоняется при  $\alpha=5\%$  в 4 случаях из 11-ти для продолжительности ледостава (рис. 2), в 4 случаях для даты начала и в 5 случаях для даты окончания ледостава. Рядов нестационарных по дисперсиям при  $\alpha=5\%$  всего 5, а если считать, что гипотезу стационарности можно условно принять в 3 случаях из 5, то для оставшихся двух

случаев нестационарность дисперсий обусловлена влиянием отдельных аномальных экстремумов.

Таблица 2. Результаты оценки стационарности по критериям Фишера (Ф) и Стьюдента (Ст) многолетних рядов характеристик ледового режима

Код поста	h <sub>макс</sub>		T <sub>ледст</sub>		T <sub>нач.ледст</sub>		T <sub>кон.ледст</sub>	
	Ф	Ст	Ф	Ст	Ф	Ст	Ф	Ст
Лена - Олекминск	+	+	(+) 4,6	(-)2,4	+	(-)1,6	(+)4,4	+
Лена - Якутск	+	+	+	-	+	(-)2,8	+	+
Лена-Кангаласцы	+	+	+	+	(-)2,1	+	+	(+)3,6
Олекма - Джекимдэ	+	+	+	-	+	-	+	-
Олекма - Куду-Кёль	+	+	+	+	+	+	+	(+)3,4
Нюкжа - Лопча	+	+	+	(-)2,9	+	-	+	+
Чара - Токко	+	+	+	+	+	+	+	(-)2,6
Алдан-Томмот	+	+	+	+	+	+	+	(-)2,1
Алдан-Охот. Перевоз	+	+	+	+	(-)1,7	+	+	+
Тимптон-У.Тимптон	(+)4,3	+	+	+	+	+	+	(+)4,3
Учур - Чюльбю	+	+	+	+	+	+	+	+

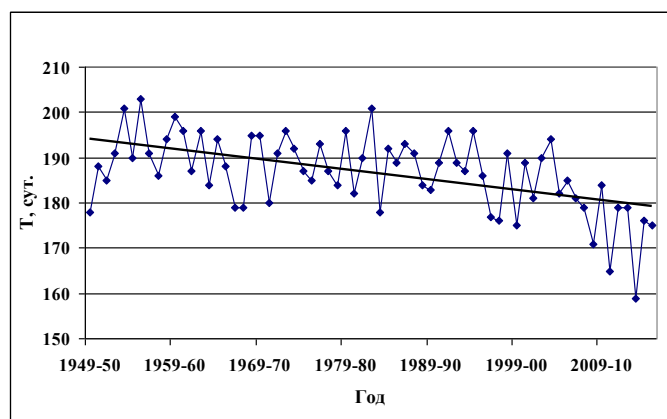


Рис. 2. Хронологический график продолжительности ледостава на р. Лена – г. Олекминск (1950-2017 гг.)

В результате анализа максимальных уровней: начала ледостава ( $H_{\text{ледст}}$ ), ледохода ( $H_{\text{лдох}}$ ), заторные уровни ( $H_{\text{зат}}$ ), а также для сравнения с ними максимальных в году уровней воды ( $H_{\text{год}}$ ), которые обычно имеют место в период весеннего половодья установлено, что нестационарными являются многолетние ряды максимальных уровней начала ледостава в створах Лена-Кангаласцы, Олекма-Джекимдэ, Нюкжа-Лопча, Алдан-Томмот, Чара-Токко и Тимптон-Усть-Тимптон. Значения этих уровней с началом климатических изменений растут (рис. 3). Ряды других максимальных уровней (ледохода и максимальных в году) – стационарны, тренды зависимостей незначимы, как для всего периода наблюдений, так и для периода климатических изменений.

Увеличение максимальных уровней начала ледостава является следствием изменения характера образования льда в осенний период. Смещение дат начала образования ледяного покрова на более поздние приводит к увеличению продолжительности шугоходов и объема шуги. Русло реки к этому времени уже оказывается частично заполнено шугой. Эти процессы приводят к увеличению вероятности возникновения заторов льда в период весеннего половодья, максимальные уровни которых часто являются причиной мощных наводнений и затопления огромных территорий, как например, было в г. Якутска в 1998, 1999 гг. и в г. Ленске в 2001 г. [8,9]. Наиболее затороопасным является участок р. Лены у поста 3047 Лена – Кангаласцы, где с

конца 1980х годов частота максимальных уровней заторного происхождения увеличилась в 2 раза: с 9 до 19 случаев. В ряду максимальных уровней по посту 3169 более 50% значений (47 из 67) относится к уровням заторного генезиса. По другим створам района максимальных заторных уровней в рядах от 4–5 (пункт 3225) до 23 (пункт 3168) – 28 (пункт 3047) случаев. Возрастающее влияние осенних ледоставных уровней отразилось на изменении соотношения вкладов аргументов зависимостей для прогноза максимальных заторных уровней (таблица 3).

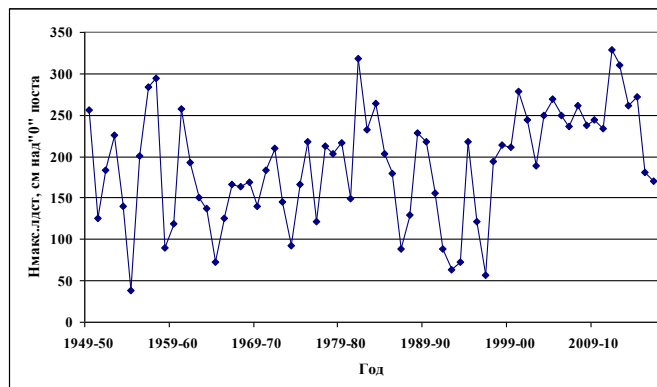


Рис. 3. Хронологический график максимальных уровней в начале ледостава (Нмакс.лдст) р. Лена – пос. Кангаласцы (1950-2017 гг.)

Таблица 3. Детерминированные вклады аргументов прогнозной зависимости для г. Якутска

Период, по которому установлена зависимость для р.Лена-г. Якутск	Аргументы прогнозной зависимости			
	характеризующие осень-зиму		характеризующие весну	
	Ледоставный уровень воды, см	Максимальная толщина ледяного покрова, см	Расход (уровень) воды при вскрытии реки	Температура воздуха при вскрытии реки
1951-74 гг.	0,01	0,03	0,71	0,25
1975-2012 гг.	0,11	0,07	0,52	0,30

И хотя наводнения заторного характера наблюдаются не ежегодно, однако наносимый ими материальный ущерб достигает многих миллионов рублей. Поэтому исследование причин их формирования, методики прогноза максимальных уровней, основанные на учете осенних и весенних факторов, включающих максимальные уровни начала ледостава, максимальную толщину льда, температуры зимнего периода, а также оценка потенциального риска затопления хозяйственно освоенных территорий являются актуальными [8].

В результате выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Зимняя температура воздуха растет (интенсивнее с середины 1980х годов).
2. Максимальная толщина льда практически стационарна.
3. Продолжительность ледостава уменьшилась на 1-2 недели, в основном, за счет более ранней (на 6-8 дней) даты окончания, начало ледостава в среднем наступает на 3-4 дня позже.
4. Из характерных максимальных уровней нестационарными являются только ряды максимальных уровней начала ледостава – они увеличиваются, что повышает значимость осенних факторов в прогнозных зависимостях для максимальных заторных уровней.

### Литература

1. Алексеев Г.В., Данилов А.И., Кацов В.М., Кузьмина С.И., Иванов Н.Е. Морские льды Северного полушария в связи с изменением климата в XX и XXI веках по данным наблюдений и моделирования. Изв. РАН, сер.ФАО, т.45, №6, 2009, с.723-735.

2. Бузин В.А., Горошкова Н.И., Стриженов А.В. Многолетние изменения максимальных заторных уровней воды на затороопасных участках Сухоны, Малой Северной Двины, Томи и Лены. (Доклад на VII Всероссийском гидрологическом съезде, 2013 г. СПб.
3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Изд-во ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», М.: 2015. - 1008 с.
4. Варламов С.П., Скачков Ю.Б., Скрябин П.Н. Тепловое состояние верхних горизонтов криолитозоны Центральной Якутии. Труды 10-ой междунар. Конф. По мерзлотоведению, Т.3, 2012, с.47-52
5. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Ожидаемые и наблюдаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. – 194 с.
6. К.С. Кириллина, В.А.Лобанов Оценка современных климатических изменений температуры воздуха на территории республики Саха (Якутия). Ученые записки РГГМУ, 2015, № 38, с.137-151.
7. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб: изд. РГГМУ, 2008. 408с.
8. Горошкова Н.И., Стриженов А.В. Происхождение и потенциальный риск заторных наводнений на реках восточной Сибири. Доклад на IV Всероссийской науч. конф. «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды» ВКА им. А.Ф.Можайского, СПб 2016)
9. Рождественский А.В., Бузин В.А., Лобанов В.А. Исследование условий формирования и расчеты максимальных уровней воды на р. Лене у г. Ленска. Метеорология и гидрология, № 2, 2003, с.68-76.