НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТОМСКОЕ ОБЛАСТНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА
ДЕПАРТАМЕНТ НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
АДМИНИСТРАЦИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

**Природопользование и охрана природы:
Охрана памятников природы,
биологического и ландшафтного
разнообразия Томского Приобья
и других регионов России**

**Материалы IX Всероссийской с международным участием
научно-практической конференции**

Томск, 21–23 апреля 2020 г.

Томск
Издательство Томского государственного университета
2020

РАСЧЁТ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА НА РЕКАХ ТОМСКОГО ПРИОБЬЯ CALCULATION OF ICE THICKNESS ON THE RIVERS OF TOMSK REGION

А.В. Янковская¹, С.Г. Копысов^{2, 1}
A.V. Yankovskaya¹, S.G. Kopysov^{2, 1}

¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск*

² *Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск*

anna.yankovskaya.96@mail.ru, wosypok@mail.ru

В статье приводятся расчётные формулы для оценки и прогноза толщины льда. Зависимости подобраны для 13 створов рек Томской области на основе данных Росгидромета. Предлагаются зависимости двух видов: коэффициенты для стандартной зависимости и в виде полинома n-степени.

The article provides calculation formulas for estimating and forecasting ice thickness. Dependencies were selected for 13 river basins of the Tomsk Region based on Roshydromet data. Dependencies of two types are proposed: coefficients for the standard dependence and in the form of an n-degree polynomial.

Ключевые слова: число градусо-дней мороза, толщина льда, расчетные и натурные данные.

Key words: Ice thickness, freezing degree days, in-situ and design value.

Актуальность данной работы обусловлена тем, что расчеты и прогнозы нарастания толщины льда имеют большое практическое значение для населения и ведения хозяйственной деятельности в труднодоступных районах. Организация зимних переправ, гидротехническое и дорожное строительство, прокладка нефте- и газопроводов в разных географических зонах требуют обеспечения надежными сведениями о ледовом режиме.

Цель работы заключается в установление локальных эмпирических зависимостей толщины льда с суммой отрицательных температур воздуха. В дальнейшем эти зависимости будут использованы для расчёта максимальной толщины льда за весь период метеонаблюдений.

Для достижения указанной цели решались следующие **задачи**: изучение особенностей формирования ледяного покрова и методов его расчета; подготовка данных и расчет суммы отрицательных среднесуточных температур воздуха (число градусо-дней мороза); сравнение толщины льда, рассчитанной различными методами.

Методы и материалы. Формирование ледяного покрова и его рост весьма сложный процесс, но оценку толщины ледяного покрова можно с достаточной точностью произвести на основе метеорологических данных [1]. В нашей работе предложены эмпирические расчётные формулы для оценки толщины льда на реках Томского Приобья, полученные на основе температуры воздуха [2] и толщины льда [3] по данным Росгидромета за период с 2007 по 2017 г.

Изменение толщины ледяного покрова управляется тепловыми потоками. Скорость нарастания льда зависит не только от суммы отрицательных температур воздуха и наличия снежного покрова, но и от целого ряда других условий: интенсивности теплосъема с поверхности льда, величины градиентов температуры воды у нижней поверхности льда, скорости течения подо льдом [4–5].

Наиболее распространенный способ прогноза толщины льда – установление местных локальных эмпирических зависимостей с суммой отрицательных температур воздуха по эмпирическим формулам [1, 4–6]:

$$h_{\text{л}} = C[\sum (-t_{\text{возд}})]^n, \quad (1)$$

где $\sum(-t_{\text{возд}})$ – сумма средних суточных температур воздуха на высоте 2 м от начала образования ледяного покрова за расчетный период; C – параметр и n – коэффициент, определяемые по

данным непосредственных наблюдений и отражающие в среднем те условия, которые имели место в период наблюдений (температуру воды, высоту и плотность снежного покрова, скорость течения воды подо льдом, глубину водоема).

Такие зависимости учитывают только прямое влияние тепловых потерь в непрерывном периоде отрицательных среднесуточных температур воздуха, независимо от других генетических факторов и влияния снежного покрова на лёду [4]. Поэтому после достижения максимума числом градусо-дней мороза и начала оттаивания льда формула (1) неприменима. Истончение льда является следствием изменения температуры воздуха и тепловых процессов в самом ледяном покрове. Поэтому некоторыми авторами предлагаются две расчётные эмпирические формулы: одна для первой половины зимы, а другая для второй половины.

Предлагаемые зависимости можно использовать для прогноза толщины льда в исследуемых створах или аналогичных им участках. Заблаговременность прогноза толщины льда по формуле (1) определяется заблаговременностью метеопрогноза. Зимой прогноз среднесуточной температуры воздуха составляется на 5 суток [6].

Полученные нами в результате обработки данных материалы представлены в таблице. В тех случаях, когда рядом со створом, где производятся наблюдения за толщиной льда нет доступных метеоданных, то сумма отрицательных температур воздуха определяется по соседним метеостанциям с учётом указанного в таблице весового коэффициента.

Формула типа (1) при $n = 0,5$ была предложена Ф.В. Быдиным для больших водохранилищ с практически нулевой скоростью у поверхности воды и отсутствием снежного покрова на льду [4–5]. Но, несмотря на это, для створа р. Васюган – д. Наунак и р. Куржина – с. Куржино она даёт такие же хорошие результаты как и полиномиальное уравнение.

Эмпирические формулы для расчёта толщины льда

Река-Пост	Расчётная метеостанция	Средняя толщина льда, см	Уравнение полинома n-степени ($x = \sum (-t_{\text{возд}})$)	R^2	Коэффициент C в формуле (1), при $n = 0,5$
р. Обь – пос. Победа	Томск	50	$h_{\text{л}} = -2E-08x^3 - 6E-05x^2 - 0,08x$	0,98	1,43
р. Обь – с. Молчаново	0,5 Колпашево 0,5 Томск	49	$h_{\text{л}} = -6E-012x^4 - 3E-08x^3 - 8E-05x^2 - 0,09x$	0,99	1,44
р. Обь – г. Колпашево	Колпашево	50	$h_{\text{л}} = 1E-09x^3 - 3E-06x^2 - 0,05x$	0,98	1,39
р. Обь – с. Каргасок	0,5 Колпашево+ 0,5 Александровское	58	$h_{\text{л}} = -5E-09x^3 - 3E-05x^2 - 0,075x$	0,98	1,69
р. Обь – с. Александровское	Александровское	58	$h_{\text{л}} = -3E-012x^4 - 2E-08x^3 - 6E-05x^2 - 0,093x$	0,99	1,60
р. Басандайка – д. Басандайка	Томск	38	$h_{\text{л}} = -1E-08x^3 - 4E-05x^2 - 0,069x$	0,99	1,23
р. Порос – с. Зоркальцево	Томск	42	$h_{\text{л}} = -1E-08x^3 - 4E-05x^2 - 0,06x$	0,98	1,29
р. Шегарка – с. Бабарыкино	Томск	23	$h_{\text{л}} = -3E-012x^4 - 2E-08x^3 - 5E-05x^2 - 0,048x$	0,99	0,71
р. Чулым – пос. Батурино	0,5 Колпашево+ 0,5 Томск	43	$h_{\text{л}} = -5E-013x^4 - 4E-09x^3 - 2E-05x^2 - 0,048x$	0,99	1,21
р. Васюган – д. Наунак	0,5 Александровское+ 0,5 Колпашево	39	$h_{\text{л}} = -6E-012x^4 - 4E-08x^3 - 9E-05x^2 - 0,092x$	0,98	1,13
р. Парабель – с. Нельмач	0,7 Колпашево+ 0,3 Александровское	33	$h_{\text{л}} = -8E-09x^3 - 3E-05x^2 - 0,054x$	0,99	0,91
р. Куржина – с. Куржино	Колпашево	21	$h_{\text{л}} = -6E-06x^2 - 0,026x$	0,99	0,60
р. Томь – г. Томск	Томск	50	$h_{\text{л}} = -6E-013x^4 - 6E-09x^3 - 3E-05x^2 - 0,08x$	0,99	1,46

Для всех остальных створов использование формулы (1) приводит к значительным погрешностям при $\Sigma(-t_{\text{возд}})$ менее 500°C , а при $\Sigma(-t_{\text{возд}})$ более 2000°C формула (1) становится не применимой. Поэтому для расчёта максимальной толщины льда за весь период метеонаблюдений будет использоваться уравнение полинома n -степени.

Литература

1. Горгуца Р.Ю., Миронов М.Е., Соколов А.В. Оценка толщины льда на основе метеорологических данных // Полярная механика. 2016. № 3. С. 54–61.
2. Всероссийский научно–исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИГМИ–МЦД). URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR/> (дата обращения: 27.04.2019).
3. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 27.04.2019).
4. Козлов Д.В. Лед пресноводных водоемов и водотоков. М. : Изд-во МГУП, 2000. 263 с.
5. Бузин В.А., Зиновьев А.Т. Ледовые процессы и явления на реках и водохранилищах. Методы математического моделирования и опыт их реализации для практических целей (обзор современного состояния проблемы). Барнаул : Пять плюс, 2009. 168 с.
6. Микова К.Д., Калинин В.Г. К методике оценки прогнозов толщины ледового покрова на водохранилищах (на примере Воткинского) // Метеорология и гидрология. 2008. № 10. С. 94– 99.