Научная статья / Scientific paper
УДК: 656.62:[551.501+556.044](282.256.6) DOI: 10.34753/HS.2025.7.4.355

Оценка современных изменений сроков физической навигации на реке Лена

М. С. Дрегваль, Е.В. Гайдукова, А.А. Батмазова, И.О. Винокуров
Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: msdregval@mail.ru

Аннотация. Рассматривается изменение периода физической навигации на судоходной реке Лена с начала гидрометрических наблюдений до настоящего времени. В статье приведены результаты статистической обработки рядов наблюдений за климатическими и гидрологическими характеристиками на реке Лена. Отмечается повышение среднегодовой температуры воздуха, а также повышение температур воздуха за отдельные месяцы в начале периода навигации: за апрель, май и июнь. Также выявлено увеличение продолжительности навигации по всей длине исследуемой реки, которое, в подавляющем большинстве случаев, происходит за счет более раннего начала навигации весной. Значимость работы определяется ключевой ролью речного транспорта для экономики и логистики Якутии, что требует оценки влияния климатических изменений на продолжительность навигационного периода.

В задачи исследования входило выявление и количественный анализ многолетних тенденций в датах начала, окончания и общей длительности навигационного периода на реке Лена и установления их связи с климатическими показателями. В основу расчетной части положен статистический анализ рядов гидрометрических наблюдений на ключевых постах в верхнем, среднем и нижнем течениях реки. Анализировались даты устойчивого вскрытия и замерзания, рассчитывалась длительность периода свободного русла и его связь с климатическими характеристиками.

Проведенный анализ показал статистически значимое увеличение продолжительности навигации на всех рассматриваемых участках реки. Установлено, что сдвиг сроков в среднем составляет от 5 до 10 дней за изученный период, при этом основной вклад вносит более раннее вскрытие реки в весенний период. Изменение дат осеннего ледостава выражено слабее.

Ключевой вывод заключается в том, что наблюдаемое потепление климата в бассейне реки Лена уже оказывает существенное влияние на гидрологический режим, удлиняя период навигации, преимущественно за счет сдвига в весенний период.

Полученные результаты исследования можно использовать при прогнозировании сроков навигации.

Ключевые слова: изменение климата; навигационный период; река Лена; статистическая обработка временных рядов; значимость линейных трендов; однородность.

Для цитирования: Дрегваль М. С., Гайдукова Е.В., Батмазова А.А., Винокуров И.О. Оценка современных изменений сроков физической навигации на реке Лена // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2025. Т. 7. Вып. 4. С. 355–366. DOI: 10.34753/HS.2025.7.4.355.

Assessment of Modern Changes in the Navigation Season Timing on the Lena River

Maria S. Dregval, Ekaterina V. Gaidukova, Anna A. Batmazova, Igor O. Vinokurov
Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg, Russia
e-mail: msdregval@mail.ru

Abstract. This article examines changes in the physical navigation period on the Lena River from the beginning of hydrometric observations to the present. The article presents the results of statistical processing of climatic and hydrological time series for the Lena River. An increase in the average annual air temperature is noted, along with rising air temperatures for individual months at the start of the navigation season: April, May, and June. An increase in the duration of navigation along the entire length of the studied river is also revealed, which is predominantly driven by earlier spring ice breakup. The significance of this study is determined by the key role of river transport for the economy and logistics of Yakutia, requiring a comprehensive assessment of climate change impact on the duration of the navigation period.

The objectives of the study included identifying and quantitatively analyzing long-term trends in the start, end, and total duration of the navigation period on the Lena River and establishing their relationship with climatic indicators. The calculations are based on a statistical analysis of hydrometric observation series at key stations in the upper, middle, and lower reaches of the river. The dates of stable ice breakup and freeze-up were analyzed, and the duration of the free-flowing period and its relationship with climatic characteristics were calculated.

The analysis revealed a statistically significant increase in navigation periods in all river sections under consideration. The shift in dates was found to average 5 to 10 days over the studied period, with the main contribution coming from earlier ice breakup in spring. The change in autumn ice formation dates was less pronounced.

The key conclusion is that the observed climate warming in the Lena River basin is already having a significant impact on the hydrological regime, extending the navigation period, primarily due to a shift in the spring. The results of this study can be used to forecast navigation periods.

Keywords: climate change; navigation period; Lena River; statistical time series processing; significance of linear trends; homogeneity.

For citation: Dregval M.S., Gaidukova E. V., Batmazova A.A., Vinokurov I. O. Assessment of modern changes in the timing of Navigation Season on the Lena River. Hydrosphere. Hazard processes and phenomena, 2025, vol. 7, iss. 4, pp. 355–366. DOI: 10.34753/HS. 2025.7.4.322. (In Russian; abstract in English).

Введение

Актуальность исследования связана с двумя аспектами использования водных транспортных путей России. Первый аспект концентрируется на развитии Северного морского пути, для которого Арктические участки судоходных рек стали частью транспортной системы. Основным документом, регламентирующим развитие этих участков, является «Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года»[1] [1]. Развитие Северного морского пути в Арктике требует анализа не только физического состояния ледостава, но и его пространственно-временной динамики для разработки эффективных и безопасных навигационных стратегий.

Второй аспект затрагивает экономическую составляющую в функционировании речной транспортной инфраструктуры, которая связывает районы Якутии транспортной артерией – рекой Лена. Именно по р. Лена происходит основная часть «северного завоза».

Даты наступления, прекращения ледовых явлений и продолжительность навигации на реке Лена являются важнейшими характеристиками, определяющими возможности социально-экономического развития ее бассейна. Ледостав влияет на экосистемы и климат, играет ключевую роль в безопасности и эффективности морских и речных перевозок.

Пространственно-временная изменчивость сроков установления ледостава в различных физико-географических условиях в последние десятилетия вызывает растущий интерес среди ученых, как в области климатических изменений, так и в области навигации. В условиях глобальных изменений климата, наблюдаемых в последнее время, возникает необходимость более глубокого понимания этих изменений и их последствий для навигации.

Так, в работе [2] проанализирована пространственно-временная изменчивость характеристик ледового режима рек, впадающих в Белое и Баренцево моря; показано, что происходящие изменения являются результатом сложного взаимодействия метеорологических и гидрологических условий. В работе [3] в результате статистического анализа характеристик ледового режима рек западного побережья Белого моря выявлены общие закономерности многолетней изменчивости

[1] Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 29 февраля 2016 г. № 327-р // Минтранс России: сайт. URL: https://mintrans.gov.ru/documents/8/8910 (дата обращения 22.04.2024).

процессов формирования ледового режима наряду с произошедшими климатическими изменениями. Рассматривая ледовый режим рек на территории республики Саха за период с 1950 по 2027 гг. [4] выявлены значимые изменения сроков ледостава и вскрытия, обусловленные современным потеплением климата. Наблюдается сокращение продолжительности ледостава в среднем на 1-2 недели, происходящее преимущественно за счет более раннего вскрытия рек. Даты начала ледостава, напротив, смещаются на более поздние сроки, но это изменение статистически менее значимо. В статье [5] были исследованы явления, вызванные сочетанием морфометрических особенностей русла и изменения метеорологических условий. Авторами выявлены тенденции роста зимних осадков и изменения температурного режима, которые указывают на необходимость постоянного мониторинга и периодического уточнения расчетных гидрологических характеристик для данного региона. В работе [6] описаны основные этапы развития исследований ледового режима рек Арктической зоны России в XX веке, включая становление системы мониторинга, развитие методов ледовых прогнозов и оценку влияния климатических изменений и антропогенных факторов на его формирование. Особое влияние уделяется современным перспективным направлениям, таким как использование космических снимков для анализа ледовой обстановки, разработка новых подходов к прогнозированию опасных ледовых явлений и исследование роли ледового режима в климатической обстановке региона.

В исследовании анализируется период физической навигации – интервал времени от начала очищения водного пути ото льда до начала устойчивого ледообразования[2].

Целью данной статьи является исследование изменения продолжительности физической навигации на разных участках реки Лена в условиях изменения климата.

Исходные данные и методы исследования

Длина р. Лена составляет 4400 км, площадь водосборного бассейна 2 488 тыс. км^2. Река берет начало на высоте 1470 м над уровнем моря на склонах Байкальского хребта. Устье реки – важный транспортный узел Сибири, где расположен один из портов Северного морского пути (порт Тикси).

Лена протекает в суровых по климатическим условиям районах. Практически весь ее бассейн расположен в регионах вечной мерзлоты Якутии и Иркутской области. Лена соединяет 6 крупных городов: Якутск, Усть-Кут, Киренск, Ленск, Олёкминск и Покровск. Остальные населенные пункты, расположенные на реке, имеют статус деревень и небольших поселений, а расстояния между ними могут достигать сотен километров.

По характеру течения реку Лена обычно делят на 3 крупных участка: верхний – от истока до устья реки Витим (протяженность 1690 км), средний – от устья реки Витим до впадения реки Алдан (1400 км) и нижний – от устья реки Алдан до о. Столб (1310 км).

Водность реки Лены велика – ее средний годовой расход у села Кюсюр (замыкающий створ в нижнем течении) составляет 16600 м^3/с. Питание реки Лены смешанное – снеговое и дождевое, с небольшим преобладанием одного из видов в зависимости от участка реки. В верхнем течении соотношение между сезонными долями стока сильно изменяется в зависимости от метеорологических условий года. Весенний сток (май–июнь) составляет 25–50 % его годовой величины, летне-осенний (июль–октябрь) 30–60 %. На зимнее полугодие приходится 10–25 %. В среднем течении, после впадения рек Витима и Олёкмы, питающихся преимущественно дождевыми водами, летне-осенний сток увеличивается, но в отдельные годы он и здесь может быть меньше весеннего. Доля стока за зимний период равна 9–11 % его

[2] Межгосударственный стандарт ГОСТ 26775-97 «Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях. Нормы и технические требования» (введен в действие постановлением Госстроя РФ от 29 июля 1997 г. N 18-42).

годового объема, она меньше, чем на верхнем участке. В нижнем течении основным является снеговое питание. В верхнем и среднем течении, где значительную роль играют подземные воды, доля стока за зимний период снижается до 6–7 %. При этом сток за май–июнь составляет обычно 50–70 %, доля же стока за зимнее полугодие снижается до 6–7 % его годового объема.

Для анализа динамики температуры воздуха и ледовых характеристик были использованы данные семи метеорологических станций (многолетние ряды среднегодовых и среднемесячных температур воздуха) и девяти гидрологических постов, равномерно расположенных на верхнем, среднем и нижнем участках р. Лена (см. рисунке 1).

Рисунок 1. Схема расположения метеорологических станций и гидрологических постов на участках реки Лена

Figure 1. Layout of meteorological stations and hydrological posts along the Lena River

Таблица 1. Характеристики рядов наблюдений
Table 1. Characteristics of observation series

Гидрологические посты				
№	**Гидрологический пост**	**Расстояние от устья, км**	**Период наблюдений, гг.**	**Длина ряда, лет**
1	р.п. Пеледуй	2693	1945–2019	75
2	г. Ленск	2508	1962–2019	58
3	Олекминск	2103	1949–2019	71
4	Саныяхтат	1885	1949–2019	71
5	г. Якутск	1491	1945–2019	75
6	п. Сангар	1177	1945–2019	75
7	с. Жиганск	754	1945–2019	75
8	гм.ст. Джарджан	512	1945–2019	75
9	с. Кюсюр	211	1945–2019	75

Метеостанции			
№	**Метеостанция**	**Период наблюдения, гг.**	**Длина ряда, лет**
1	Витим	1944–2020	77
2	Ленск	1944–2020	77
3	Олекминск	1944–2020	77
4	Якутск	1944–2020	77
5	Жиганск	1944–2020	77
6	Джарджан	1944–2020	77
7	Кюсюр	1945–2020	76

Исходная информация по ледовым характеристикам была взята из гидрологических ежегодников, а также с сайта АИС ГМВО (2008–2019 гг.)[3]. Метеорологическая информация была полностью получена из архивов ВНИИГМИ-МЦД, которые находятся в свободном доступе на сайте организации[4].

Для оценки изменения продолжительности навигации использовались ряды дат начала и окончания ледостава и рассчитанные ряды продолжительности физической навигации за период с начала наблюдений до 2019 г. (рисунок 1, таблица 1).

Гидрометеорологические ряды обрабатывались методами статистики: проверка на однородность, выявление значимого тренда, построение нормированных суммарных кривых.

Результаты исследования

Многолетние ряды среднегодовых температур воздуха и температур воздуха за май (месяц начала навигации) были использованы для построения хронологических графиков и проверки рядов на однородность (по среднему значению и по дисперсии), а также на наличие тренда.

В результате установлено, что ряды являются неоднородными по критерию Стьюдента и имеют значимый положительный тренд (при 5 % уровне значимости) (таблица 2).

[3] Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). – URL: https://gmvo.skniivh.ru/index.php (дата обращения 28.04.2023).

[4] Специализированные массивы для климатических исследований. – URL: http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index0.xhtml (дата обращения 28.02.2024).

Таблица 2. Результаты проверки многолетних рядов температуры воздуха на однородность и наличие тренда

Table 2. Results of testing long-term air temperature series for homogeneity and the presence of a trend

Метеостанция	Среднегодовые температуры воздуха			Температура воздуха за май		
	критерий Стьюдента	критерий Фишера	значимость тренда	критерий Стьюдента	критерий Фишера	значимость тренда
Витим	+	–	значим	+	+	значим
Ленск	+	–	значим	+	–	значим
Олекминск	+	–	значим	+	–	значим
Якутск	+	+	значим	+	–	значим
Жиганск	+	–	значим	+	–	значим
Джарджан	+	–	значим	+	–	значим
Кюсюр	+	–	значим	+	–	значим
«+» – ряд неоднороден; «–» – ряд однороден						

Продолжительность физической навигации определялась как разница между датами начала и окончания ледостава. Полученные многолетние ряды двух указанных ледовых характеристик были проверены на однородность по критериям Стьюдента, Фишера и на значимость линейных трендов при уровне значимости 2α = 5 %[5] (таблица 3). Кроме того, была проанализирована динамика дат начала и окончания ледовых явлений, которые для этого были переведены в количественные величины – в число суток от постоянного начала (с 1 января каждого года).

Таблица 3. Результаты проверки многолетних рядов ледовых характеристик на однородность и наличие тренда

Table 3. Results of testing long-term series of ice characteristics for homogeneity and the presence of a trend

Гидрологический пост	Продолжительность физической навигации, дней			Окончание ледовых явлений, дата			Начало ледовых явлений, дата		
	критерий Фишера	критерий Стьюдента	значимость тренда	критерий Фишера	критерий Стьюдента	значимость тренда	критерий Фишера	критерий Стьюдента	значимость тренда
р.п. Пеледуй	–	–	не значим	–	+	значим	–	–	не значим
г. Ленск	–	+	значим	–	+	значим	–	–	не значим
Олекминск	–	+	значим	–	–	не значим	–	–	не значим
Саныяхтат	–	+	значим	–	+	значим	–	–	не значим
г. Якутск	+	+	значим	–	+	значим	+	+	значим
п. Сангар	–	+	значим	–	+	значим	–	–	не значим
с. Жиганск	–	+	значим	–	+	значим	–	–	не значим
гм.ст. Джарджан	–	+	значим	–	+	значим	–	–	не значим
с. Кюсюр	–	+	значим	–	+	значим	–	–	не значим
«+» – ряд неоднороден; « – » – ряд однороден									

[5] Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. – СПб: Нестор-История, 2010.– 162 с.

Таким образом, из 27 рассмотренных рядов ледовых характеристик более 60 % из них являются неоднородными по критерию Стьюдента.

Для выявления точек нарушения стационарности рядов температуры воздуха и ледовых характеристик строились нормированные суммарные кривые [7]:

$$\sum_{i=T_н}^{T} \frac{x_i - x_{\min}}{\sigma_x} = f(T), \qquad (1)$$

где x_i – значение исследуемой характеристики в i-ом году; $x_{\min}$ – минимальное значение характеристики за рассматриваемый период; σ_x – стандартное отклонение ряда x; T – время (годы); $T_н$ – год начала наблюдений.

Было установлено, что точка перелома на суммарных кривых приходится на начало 1990-х гг. (таблица 4).

Отмечается повышение среднегодовой температуры воздуха, а также повышение температуры воздуха в месяцах начала периода навигации: апреле, мае и июне. В качестве примера на рисунке 2 представлены нормированные суммарные кривые среднемноголетних годовых температур воздуха и температур воздуха за май месяц по данным метеостанций Кюсюр, Жиганск и Ленск.

Таблица 4. Годы перелома в многолетних рядах температуры воздуха и периода физической навигации

Table 4. Turning points in long-term air temperature series and the period of physical navigation

Участок реки	Метеостанция на участке	Год перелома среднегодовой температуры воздуха	Гидрологический пост на участке	Год перелома продолжительности физической навигации
г. Киренск – устье р. Витим	Витим	1983	р.п. Пеледуй	1986
устье р. Витим – устье р. Нюя	Ленск	1990	г. Ленск	1992
устье р. Нюя – устье р. Олекма	Олекминск	1990	Олекминск	1990
			Саныяхтат	1983
устье р. Олекма – г. Якутск	Якутск	1985	г. Якутск	1984
			п. Сангар	1987
г. Якутск – г. Жиганск	Жиганск	1990	с. Жиганск	1988
г. Жиганск – Быков Мыс	Джарджан	2000	гм.ст. Джарджан	1999
	Кюсюр	1989	с. Кюсюр	1989

Примеры хронологических графиков, построенных на основании многолетних рядов данных о продолжительности физической навигации (с наличием тренда) и нормированные суммарные кривые представлены на рисунке 3.

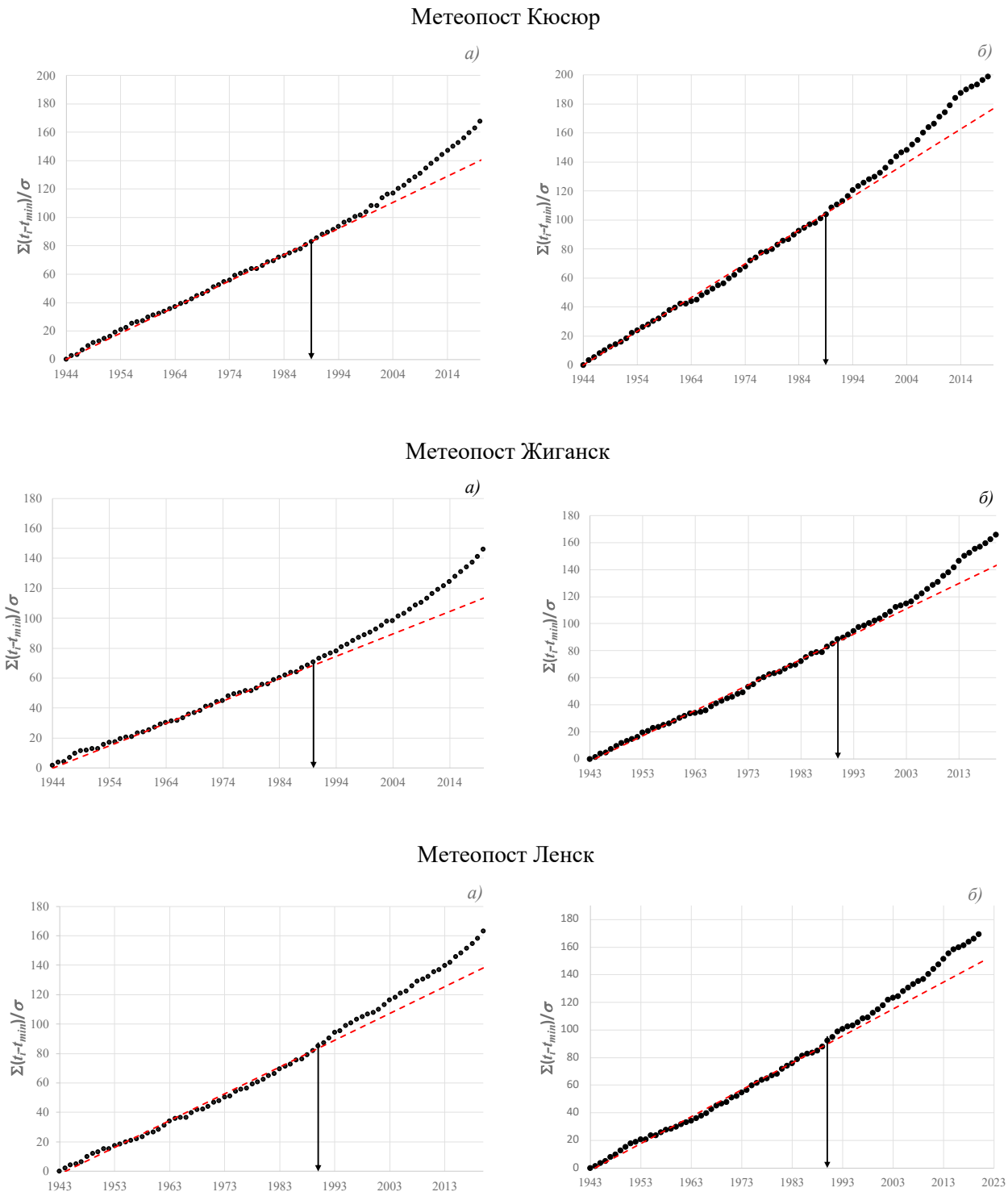

Рисунок 2. Нормированные суммарные кривые среднегодовых температур воздуха (а) и температур воздуха за май (б) по метеостанциям Кюсюр, Жиганск и Ленск

Figure 2. Normalized summary curves of average annual air temperatures (a) and air temperatures for May (b) at the meteorological stations of Kyusyur, Zhigansk and Lensk

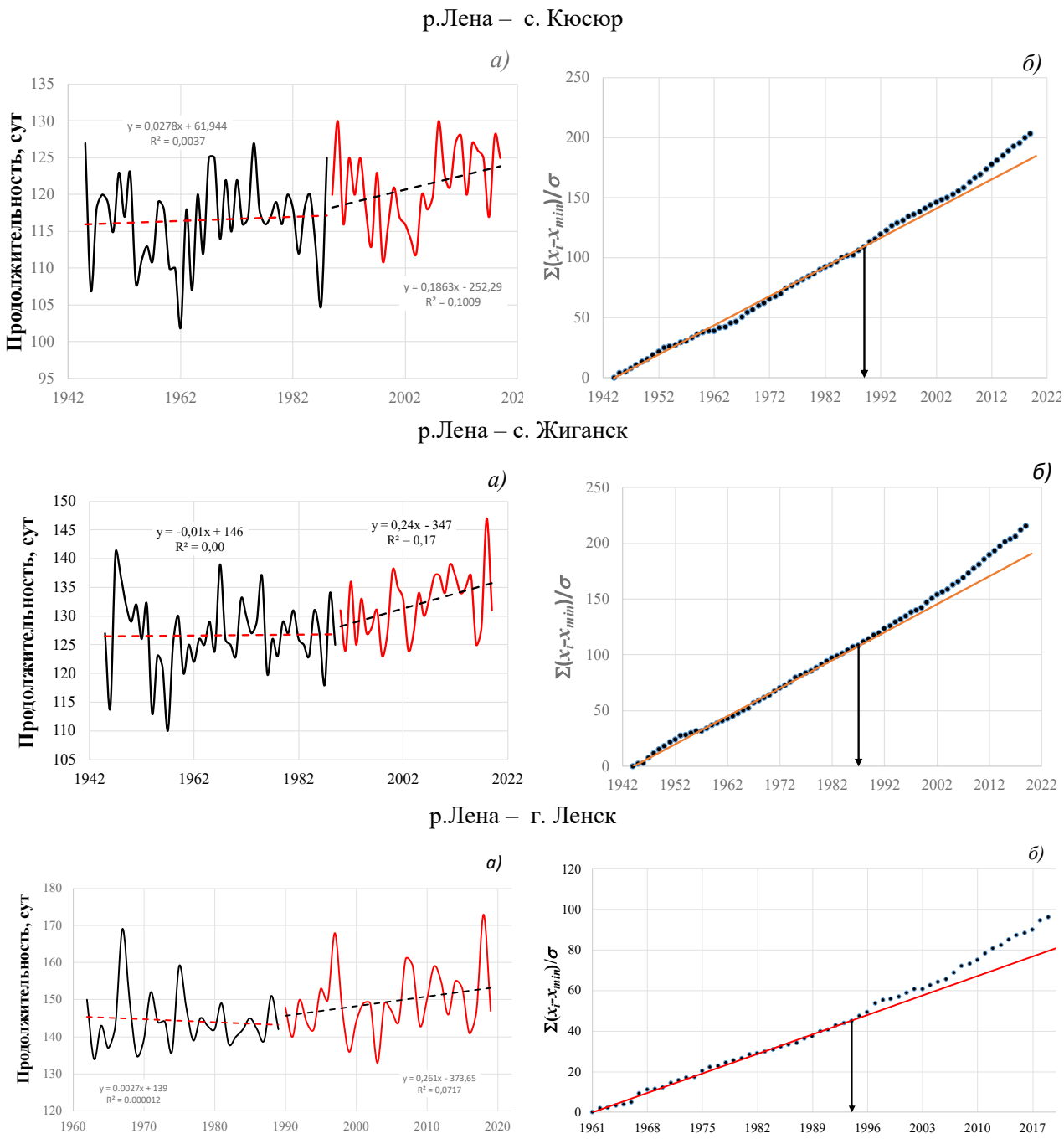

Рисунок 3. Хронологические графики продолжительности физической навигации (а) и интегральные кривые (б) на постах с. Кюсюр, с. Жиганск и г. Ленск

Figure 3. Chronological graphs of the duration of physical navigation (a) and integral curves (b) at the posts of the villages of Kyusyur, Zhigansk and the city of Lensk

В среднем на выбранных постах исследуемого района в современных условиях, ледостав заканчивается на 5 суток раньше и устанавливается на 4 суток позже, чем в предшествующие периоды (до точки перелома). Исключением является гидрологический пост Якутск, где ледовый режим реки подвержен антропогенному воздействию [8, 9]. Выявленные изменения продолжительности физической навигации в сторону ее увеличения связаны с ростом температур воздуха в бассейне р. Лены.

Средние даты появления и окончания ледовых явлений и средние значения продолжительности физической навигации на разных участках р. Лена представлены в таблице 5.

Таблица 5. Средние даты появления и окончания ледовых явлений и средние значения продолжительности физической навигации на реке Лена в различные периоды

Table 5. Average dates of the appearance and end of ice phenomena and average values of the duration of physical navigation on the Lena River in different periods

Гидрологический пост	Средняя дата окончания ледовых явлений за период			Средняя дата появления ледовых явлений за период			Продолжительность физической навигации за период		
	до года перелома	после года перелома	разница в днях	до года перелома	после года перелома	разница в днях	до года перелома	после года перелома	разница в днях
р.п. Пеледуй	21 мая	19 мая	2	15 октября	16 октября	1	147	150	3
г. Ленск	22 мая	22 мая	0	14 октября	19 октября	5	145	150	5
г. Олекминск	18 мая	13 мая	5	8 ноябя.	12 ноября	4	174	183	9
с. Саныяхтат	28 мая	26 мая	2	8 октября	12 октября.	4	132	139	7
г. Якутск	*29 мая*	*20 мая*	*9*	*12 октября*	*27 октября*	*15*	*136*	*160*	*24*
п. Сангар	31 мая	27 мая	4	10 октября	12 октября	2	132	138	6
с. Жиганск	3 июня	31 мая	3	8 октября	10 октября	2	126	132	6
гм. ст. Джарджан	8 июня	5 июня	3	4 октября	6 октября	2	118	123	5
с. Кюсюр	12 июня	9 июня	3	7 октября	8 октября	1	116	120	4
Среднее			3			4			8

Выводы

Продолжительный навигационный период на реке Лена имеет существенное экономическое значение для Российской Федерации, способствуя развитию транспортной инфраструктуры, увеличению объемов перевозок и снижению логистических издержек.

Исследование изменений сроков навигации на реке Лене позволяет прогнозировать параметры физической навигации [10] и разрабатывать эффективные стратегии управления транспортными потоками в регионе.

Установлено, что в районах верхнего, среднего и нижнего течения р. Лена в последние тридцать лет наблюдается рост среднегодовой температуры воздуха и температуры воздуха за май месяц. Изменение климатических условий в сторону потепления примерно произошло на уровне 1990 г.

Указанные климатические изменения привели к смещению дат начала и окончания ледостава. На большинстве гидрологических постов ледостав в последние 30 лет устанавливается на 4 суток позже и заканчивается на 3 суток раньше. Продолжительность физической навигации увеличилась в среднем на 7 суток. В современных условиях продолжительность физической навигации на реке Лена в среднем составляет от 120 суток (р. Лена – с. Кюсюр) до 183 суток (р. Лена – г. Олекминск).

Исходя из результатов исследования, можно сделать вывод, что выявленные климатические изменения оказывают влияние на сроки навигации. Сокращение периода формирования ледового покрова снижает стабильность условий судоходства, увеличивает риски для судовладельцев и требует принятия соответствующих мер для обеспечения безопасности и эффективности речного транспорта.

Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ № FSZU-2023-0002.

Acknowledgements

The work was carried out as part of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. FSZU-2023-0002.

Литература / References

1. Бурылина Д.И. Современное состояние водного транспорта и проблемы его развития // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2018. Т. 2, №4(14). С. 666–668.
   Buryrina D.I. Modern state of water transport and problems of its development. Actual problems of aviation and cosmonautics, 2018, vol. 2, no. 4(14), pp. 666–668. (In Russian).
2. Агафонова С.А., Фролова Н.Л. Ледовый режим рек севера Европейской части России // Меняющийся климат и социально-экономический потенциал российской Арктики. М.: Лига-Вент, 2015. С. 35–47.
   Agafonova S.A., Frolova N.L. Ice regime of the rivers in the north of the European part of Russia. In: Changing climate and socio-economic potential of the Russian Arctic. Moscow: Liga-Vent, 2015, pp. 35–47 (In Russian).
3. Баклагин В.Н., Махальская Н.И. Многолетняя изменчивость характеристик ледового режима в устьевых областях рек западного побережья Белого моря на фоне климатических изменений // Лёд и снег. 2024. Т. 64. №2. С. 281–292. DOI: 10.31857/S2076673424020111.
   Baklagin V.N., Makhalskaya N.I. Long-term variability of ice regime characteristics in the estuarine areas of the White Sea western coast rivers against the background of climate change. Ice and Snow, 2024, vol. 64, no. 2, pp. 281–292. DOI: 10.31857/S2076673424020111. (In Russian; abstract in English).
4. Лобанов В.А., Горошкова Н.И. Характеристики ледового режима рек Республики Саха (Якутия) и их климатические изменения // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2019. №55. С. 86–98. DOI: 10.33933/2074-2762-2019-55-86-98.
   Lobanov V.A., Goroshkova N.I. Characteristics of the ice regime of the rivers of the Republic of Sakha (Yakutia) and their climatic changes. Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University, 2019, no. 55, pp. 86–98. DOI: 10.33933/2074-2762-2019-55-86-98. (In Russian; abstract in English).
5. Рождественский А.В., Бузин В.А., Лобанов В.А. Исследование условий формирования и расчеты максимальных уровней воды на р. Лена у г. Ленск // Метеорология и гидрология. 2003. №2. С. 68–76.
   Rozhdestvensky A.V., Buzin V.A., Lobanov V.A. Study of the formation conditions and calculations of maximum water levels on the Lena River near the city of Lensk. Russian Meteorology and Hydrology, 2003, no. 2, pp. 68–76. (In Russian; abstract in English).
6. Агафонова С.А. Исследования ледового режима рек Арктической зоны России в XX и XXI вв // Арктика и Антарктика. 2019. №1. С. 81–94. DOI: 10.7256/2453-8922.2019.1.29530.
   Agafonova S.A. Studies of the ice regime of rivers in the Russian Arctic zone in the 20th and 21st centuries. Arctic and Antarctic, 2019, no. 1, pp. 81–94. DOI: 10.7256/2453-8922.2019.1.29530. (In Russian; abstract in English).
7. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации: учебник. СПб.: РГГМУ, 2007. 279 с.
8. Чалов Р.С. и др. Морфология, деформации, временные изменения русла р. Лены и их влияние на хозяйственную инфраструктуру в районе г. Якутска // Геоморфология. 2016. № 3. С. 22–35. DOI: 10.15356/0435-4281-2016-3-22-35.
   Chalov R.S. et al. Morphology, deformations, temporal changes of the Lena River channel and their impact on the economic infrastructure in the Yakutsk area. Geomorfologiya, 2016, no. 3, pp. 22–35. DOI: 10.15356/0435-4281-2016-3-22-35. (In Russian).
9. Курдюков С.Ю. Логистические возможности доставки грузов в Республику Саха (Якутия) // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2023. № 3. С. 78–89. DOI: 10.51955/2312-1327_2023_3_78.

Kurdyukov S. Yu. Logistic possibilities of cargo delivery to the Republic of Sakha (Yakutia). Crede Experto: Transport, Society, Education, Language, 2023, no. 3, pp. 78–89. DOI: 10.51955/2312-1327_2023_3_78. (In Russian; abstract in English).

10. Дрегваль М.С., Гайдукова Е.В. Прогноз сроков ледовых явлений для определения навигационного периода на р. Лена // Образцовый маршрут. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. М.: МАДИ, 2024. С. 70–75.

Поступила в редакцию / Received 23.10.2025
Принята к публикации / Accepted 04.12.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дрегваль Мария Станиславовна, старший преподаватель, кафедра инженерной гидрологии, Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, Россия, SPIN-код: 1232-1442, e-mail: msdregval@mail.ru.

Гайдукова Екатерина Владимировна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, кафедра инженерной гидрологии, Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, Россия, SPIN-код: 9826-7365, e-mail:oderiut@mail.ru.

Батмазова Анна Александровна, ассистент кафедры, кафедра инженерной гидрологии, Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, Россия, SPIN-код: 9810-7934, e-mail: batmazovaa@mail.ru.

Винокуров Игорь Олегович, старший преподаватель, кафедра инженерной гидрологии, Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, Россия, SPIN-код: 3510-7566, e-mail: igor.o.vinokurov@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Maria S. Dregval, Senior Lecturer, Department of Engineering Hydrology, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia, SPIN code: 1232-1442, e-mail: msdregval@mail.ru.

Ekaterina V. Gaidukova, Ph.D. (Technical Sciences), Associate Professor, Head of the Department of Engineering Hydrology, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia, SPIN-code: 9826-7365, e-mail: oderiut@mail.ru.

Anna A. Batmazova, Assistant, Department of Engineering Hydrology, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia, SPIN code: 9810-7934, e-mail: batmazovaa@mail.ru.

Igor O. Vinokurov, Senior Lecturer, Department of Engineering Hydrology, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia, SPIN code: 3510-7566, e-mail: igor.o.vinokurov@gmail.com.