



УДК 556.166«321»(282.256.6)

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.28.3>

## Изменение уровней воды и уклонов водной поверхности при заторных явлениях на р. Лене

А. П. Аммосов

*Институт физико-технических проблем Севера  
им. В. П. Ларионова СО РАН, г. Якутск*

Р. Н. Шпакова

*Московский государственный институт  
международных отношений (университет), г. Москва*

К. И. Кусатов

*Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды, г. Якутск*

З. Г. Корнилова

*Институт физико-технических проблем Севера  
им. В. П. Ларионова СО РАН, г. Якутск*

**Аннотация.** Несмотря на значительный интерес научного сообщества к проблеме прогнозирования изменений характеристик водного потока в условиях заторообразования, данная проблема остается актуальной, чему в немалой степени способствует крайняя недостаточность детальной информации, отражающей течение указанного процесса. В статье приводятся результаты сравнительного анализа распространения волны половодья на участке Средней Лены от гидрологического поста Покровск до гидрологического поста Намцы при заторообразовании, сопровождающемся формированием исторических наивысших уровней воды, в 1958 и 2010 гг. Важно отметить, что формирование максимального уровня весеннего половодья во втором случае происходило в условиях значительного антропогенного воздействия. Показаны изменения уклона водной поверхности и скорости подъема и спада уровня воды по рассмотренным гидрологическим постам. Выявлены основные факторы, определяющие распространение максимального уровня воды выше и ниже по течению от места формирования ледяного затора. Особенности формирования и разрушения заторов предопределяют характерные изменения уклонов водной поверхности. Отмечена повышенная чувствительность морфологии русла р. Лены на рассмотренном участке Покровск – Намцы в силу мобильности песчаных грунтов, слагающих ложе реки. Данное обстоятельство определяется как один из важных факторов заторообразования. Установлена необходимость проведения исследований условий заторообразования при весеннем ледоходе с целью разработки более эффективной методики реализации противопаводковых мероприятий.

**Ключевые слова:** ледовые заторы, заторообразование, уклон водной поверхности, река Лена, русловые деформации, наводнения, антропогенный фактор.

**Для цитирования:** Изменение уровней воды и уклонов водной поверхности при заторных явлениях на р. Лене / А. П. Аммосов, Р. Н. Шпакова, К. И. Кусатов, З. Г. Корнилова // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 28. С. 3–20. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.28.3>

## Введение

На р. Лене и ее крупных притоках во время весеннего ледохода образуются заторы. Огромные массы льда, стремительно движущиеся по течению, наталкиваются на прочный ледяной покров еще не вскрытой части реки, останавливаются и, нагромождаясь друг на друга, образуют торосистые скопления. Иногда они полностью забивают русло реки и становятся своеобразными ледяными плотинами [Бузин, 2004; Антропогенный фактор в заторообразовании ... , 2012; Мостахов, 1972]. Формирование заторов сопровождается затоплениями пониженных участков речной долины, в некоторых случаях принимающих характер катастрофических и приводящих к огромному материальному ущербу. Гарантированно предотвратить подобные явления даже с помощью современных технических средств пока не представляется возможным [Антропогенный фактор в заторообразовании ... , 2012].

Заторы льда чаще всего возникают в местах сужения русла, на крутых поворотах (излучинах), на мелководных (перекатных) и разветвленных (проточных) участках реки, у крупных островов, отмелей и осередков. На всем протяжении р. Лены гидрологами выявлено более 120 мест формирования весенних заторов льда [Бузин, 2004; Кильмянинов, Тазатинов, Шепелев, 2001; Антропогенный фактор в заторообразовании ... , 2012; Мостахов, 1972; Ухов, Кильмянинов, 1999].

Мощные и продолжительные заторы льда на Лене тянутся от нескольких сотен метров до сотни километров и более, а продолжительность их существования составляет от нескольких часов до нескольких суток [Мостахов, 1972]. В июне 1963 г. в низовьях р. Лены, у с. Тит-Ары, мощный затор льда протяженностью 130 км сохранялся 10 суток. В мае 1967 г. у Покровска «ледяная плотина» удерживалась почти 12 суток. Длительность затора в районе с. Кытыл-Дьура весной 2009 г. была около 16 суток – с 8 по 24 мая.

Масштабы развития заторных явлений, механизмы формирования и количественные характеристики затора обуславливаются тремя группами факторов [Ноговицын, Кильмянинов, 2007]:

- геоморфологическими, определяющими особенности строения русла в продольном, поперечном и плановом отношениях;
- гидрометеорологическими, включающими интенсивность развития половодья, характер распределения толщины льда, погодные условия в период ледохода;
- наличием различных водохозяйственных и других сооружений, стесняющих русло, а также мероприятиями по регулированию стока и интенсивности ледохода – мероприятиями по искусственному воздействию на заторы льда.

В настоящее время существуют большое количество работ отечественных ученых [Кильмянинов, 1992; Кильмянинов, Тазатинов, Шепелев, 2001; Бузин, 2004; Ноговицын, Кильмянинов, 2007] и современные публикации зарубежных исследователей [Divergence in seasonal hydrology ... , 2009; A major advance ... , 2014; Ice-jam flood risk ... , 2016; Ice-jam flood

delineation ... , 2017; Erosion potential of dynamic ... , 2018; Lessons learned from ... , 2018; Going with the flow ... , 2018; Global Warming and Human ... , 2018; Hydrological Variability and ... , 2018], описывающие характер заторообразования, его физико-механическую, гидрологическую и гидроморфологическую основу. Несмотря на это, процесс заторообразования еще недостаточно изучен, в связи с чем невозможен надежный прогноз заторной составляющей подъема уровня весеннего половодья.

Исходя из вышеизложенного, проблема прогнозирования заторных наводнений до сих пор остается актуальной [Бузин, 2004], ее решение, как представляется, возможно в ходе не только включения в анализ новых материалов натуральных наблюдений, но и более углубленного рассмотрения наиболее интересных с научной точки зрения материалов прошлых лет. К последним, по мнению авторов настоящей статьи, следует отнести случаи образования мощных заторов на участке р. Лены от г. Покровска до с. Намцы в 1958 и 2010 гг.

В мае 1958 г. образование затора между гидрологическими постами (далее – г/п) Якутск и Кангалассы (несколько ниже пос. Жатай) привело к формированию наивысшего исторического уровня воды на г/п Табага. В мае 2010 г. на участке Табага – Якутск в районе подводного перехода магистрального газопровода Хатассы – Павловск (находящегося на расстоянии приблизительно 9,0 км от г/п Табага) также возник мощный затор, в результате которого наивысший исторический уровень воды по г/п Табага, отмеченный в 1958 г., был превышен на 1,11 м. Таким образом, оба этих случая представляют собой наиболее яркое проявление влияния заторообразования на водный режим, но при этом в 2010 г. имело место существенное воздействие антропогенного фактора – в значительных объемах проведенное перестроение русла с созданием искусственных песчаных островов и осуществление противозаторных работ по ослаблению ледяного покрова. При этом в науке уже звучали мнения о невысокой в целом эффективности противозаторных мероприятий [Бузин, Горошкова, Стриженов, с. 57; Антропогенный фактор в заторообразовании ... , 2012].

С учетом указанных проблем выяснение отличий в условиях формирования и прохождения волны вскрытия на р. Лене в 1958 и 2010 гг. представляет значительный интерес.

### **Объект исследования**

В данной статье рассматриваются факторы формирования наивысших уровней весеннего половодья и изменения уровней воды и уклонов водной поверхности, возникших в 1958 и 2010 гг., при весеннем ледоходе с заторообразованием на участке р. Лены от г/п Покровск до г/п Намцы. Между гидрологическими постами Покровск и Намцы расположены гидропосты Табага, Якутск и Кангалассы (рис. 1).

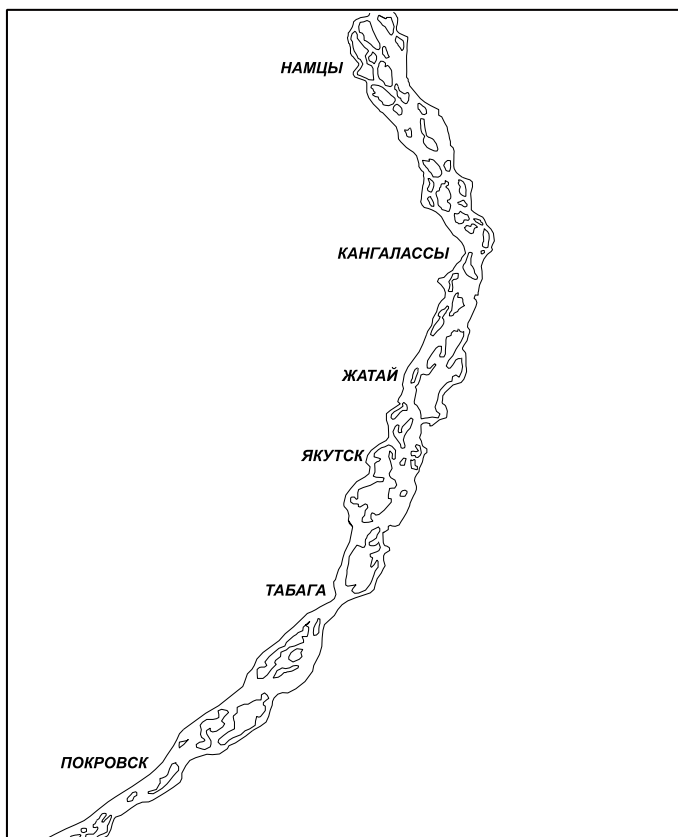


Рис. 1. Схематичная карта р. Лены от г/п Покровск до г/п Намцы

Гидрологические посты размещены в одноименных населенных пунктах: г. Покровске, с. Табага, г. Якутске, с. Кангалассы и с. Намцы. Расстояния между гидрологическими постами: Покровск – Табага – 47, Табага – Якутск – 36, Якутск – Кангалассы – 34, Кангалассы – Намцы – 49 км [Волкова, Гнатюк, Дектярев, 2009].

Участок р. Лены от Покровска до Намцев имеет несколько рукавов. Морфологически он характеризуется как параллельно-рукавный. На протяжении примерно 166 км имеются более 20 островов и осередков (см. рис. 1). Ширина Лены у г. Якутска достигает 7–10 км.

### **Материалы и методы исследования**

Исходным материалом, использованным в работе, являются многолетние данные мониторинговых наблюдений за уровнем воды на гидрологических постах р. Лены Покровск, Табага, Якутск, Кангалассы и Намцы Якутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в 1958 и 2010 гг. В ходе исследования применялась методика определения местоположения возникновения затора [Кусатов, 1977].

Проводилось сравнение временных интервалов наступления наивысших уровней воды и средних скоростей ( $V_B$ ) их распространения при весеннем вскрытии р. Лены по г/п Якутск, Кангалассы и Намцы. Проведен также сравнительный анализ изменения уклонов водной поверхности в эти заторные годы. Для оценки интенсивности увеличения  $V_{ПВ}$  и уменьшения  $V_{СД}$  уклонов водной поверхности нами использованы соотношения

$$V_{ПВ} = \frac{J}{t \cdot L} \text{ и } V_{СД} = \frac{J}{t \cdot L}, \quad (1)$$

где  $J$  – принятый для расчета уклон водной поверхности между гидрологическими постами;  $t$  – время;  $L$  – расстояние между гидрологическими постами. Здесь  $V_{ПВ}$  и  $V_{СД}$  рассматриваются на единицу длины расстояния, равную 1 км.

В качестве характеристики ледовых условий вскрытия приняты суммы отрицательных температур воздуха за период ледостава (октябрь – март), так как толщина льда, измеряемая подекадно, полагается нами не вполне репрезентативным параметром в силу того, что измеряется с помощью разрушающей технологии, о чем авторы сообщали в докладах на VI и VII гидрологических съездах в 2004 и 2013 гг.

Сведения о среднесуточной температуре воздуха по метеостанциям Витим и Якутск брались из массивов данных, предоставляемых ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» на специальном интернет-ресурсе<sup>1</sup>.

### Результаты исследования

По оценкам В. В. Кильмянинова, критерием опасности наводнения на Средней Лене, связанной с интенсивным снеготаянием, является средняя температура воздуха первой декады мая по метеостанции Витим. При значениях данного показателя более 2,9 °С и наличии суровой зимы с высокой долей вероятности следует ожидать мощного наводнения. Суровой зимой считается зима, во время которой сумма накопленных за период март – октябрь отрицательных температур воздуха должна быть большей или равной минус 41,15 °С [Кильмянинов, 2012]. Сумма отрицательных температур по Витиму в 1958 г. составила минус 38,01, в 2010 г. – минус 43,53 °С. Средняя температура первой декады в 1958 г. составила 3,0, в 2010 г. – 5,7 °С. Таким образом, в 2010 г. имели место оба условия, необходимых, по мнению В. В. Кильмянинова, для формирования мощного наводнения, – и суровая зима, и дружное снеготаяние, в 1958 г. одно условие – наличие интенсивного снеготаяния, суровость же зимы оказалась недостаточной.

В то же время сумма отрицательных температур воздуха по метеостанции Якутск в зиму 1957–1958 гг. составила минус 55,51 °С, в зиму 2009–2010 гг. – минус 48,53 °С при среднем многолетнем значении минус 53,02 °С. Таким образом, на Средней Лене зима 1957–1958 гг. была существенно более суровой. Повышенная толщина льда, по общему правилу, яв-

<sup>1</sup> Официальный интернет-портал ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». URL: <http://meteo.ru>.

ляется фактором, способствующим образованию ледяных заторов, и, исходя из имеющихся сведений, данный фактор в 1958 г. более выражен. В 2010 г. толщина льда в пунктах наблюдений на рассматриваемом участке даже не превышала средних многолетних величин.

К особенностям подготовительного периода вскрытия р. Лены в 2010 г. следует отнести проведение в предпаводковый период в створах Табагинского и Кангаласского мысов превентивных мероприятий, направленных на ослабление прочности ледяного покрова. Так, распиловка льда затронула 13 км длины реки, а зачернение – 9,2 га поверхности ледяного покрова в районе Кангаласского мыса. Аналогичные по объемам работы были осуществлены и в районе Табагинского мыса. В 1958 г. подобного рода мероприятий не реализовывалось.

Немаловажное значение при формировании наивысших уровней воды весеннего половодья, имеющих заторный характер, имеет режим температуры воздуха в период, непосредственно предшествующий вскрытию, и в период вскрытия.

Среднесуточные температуры воздуха по метеостанции Якутск накануне и в течение периода вскрытия приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сведения о температуре воздуха по метеостанции Якутск, °С

Дата	1958 г.	2010 г.	Норма	Дата	1958 г.	2010 г.	Норма
10.05	4,7	11,0	4,4	20.05	11,2	9,1	7,7
11.05	3,7	11,1	4,8	21.05	9,2	8,7	7,9
12.05	2,0	11,6	4,8	22.05	9,8	9,8	8,5
13.05	-4,4	11,1	5,0	23.05	6,0	10,7	8,9
14.05	-2,3	12,4	5,2	24.05	10,4	14,9	9,0
15.05	1,1	8,5	5,2	25.05	5,9	10,1	8,7
16.05	3,6	6,1	5,6	26.05	5,2	12,5	8,9
17.05	7,6	9,6	6,5	27.05	6,6	14,5	9,5
18.05	10,6	14,1	7,1	28.05	5,2	14,4	10,0
19.05	11,3	11,8	7,5	29.05	7,1	12,8	10,8

Температурный режим в течение периода, непосредственно предшествовавшего вскрытию, в анализируемые годы существенно различался. В 1958 г. имело место похолодание с 11 по 16 мая вплоть до отрицательных в течение двух суток значений, что препятствовало процессу постепенного ослабления прочности ледяного покрова. И в дальнейшем, в период формирования и развития заторов льда, среднесуточная температура воздуха лишь в отдельные сутки превышала норму. В 2010 г., как накануне, так и по ходу вскрытия, температура воздуха имела положительные значения, существенно превышала норму и способствовала интенсивному уменьшению прочности ледяного покрова. Таким образом, температурный режим в 1958 г. значительно способствовал формированию и поддержанию ледового затора, чем в 2010 г.

По состоянию на начало 2010 г. имелись данные авиаразведки, свидетельствующие о том, что на участке р. Лены от с. Табага до с. Кангалассы

насчитывается 7 очагов заторообразования: на 1463, 1467, 1478, 1486, 1492, 1504 и 1511-м километрах от устья реки [Рождественский, Бузин, Шалашина, 2010]. Из перечисленных мест два относятся к участку Табага – Якутск, который ранее считался менее затороопасным, чем участки Покровск – Табага, Якутск – Кангалассы, Кангалассы – Намцы [Антропогенный фактор в заторообразовании ... , 2012].

Среднемесячные расходы воды в мае 1958 г. по г/п Табага составили в модульных коэффициентах 1,20, а в 2010 г. – 1,35 при норме 12 тыс. м<sup>3</sup>/с. Как видим, водность реки в 2010 г. на 13 % превышает водность в 1958 г.

Можно сделать следующие выводы об условиях формирования наивысших уровней весеннего половодья в 1958 и 2010 гг. По совокупности факторов, связанных с ледовым режимом, условия для образования мощных ледовых заторов при прохождении волны половодья и, соответственно, максимальных уровней воды, существенно превышающих норму, более явно выражены в 1958 г.: намного бóльшая толщина льда и температурный режим накануне вскрытия, препятствующий значительному уменьшению прочности ледяного покрова. Факторы, характеризующие влияние водного режима, напротив, более выражены в 2010 г.: более высокая общая водность реки в мае и интенсивность нарастания водности. С очень большим приближением можно оценить условия 1958 и 2010 гг. как примерно равные, во всяком случае не влекущие за собой значительного превосходства условий в каком-либо из этих двух случаев.

В 1958 г. затор льда на рассматриваемом участке Лены возник в естественных условиях, при отсутствии какого-либо антропогенного вмешательства (в русле реки не производились строительные работы, связанные с масштабными перемещениями грунта, не осуществлялись мероприятия по ослаблению ледяного покрова).

В 2010 г. голова затора формировалась, как показала ледовая разведка 18 мая, на песчаных островах, возведенных в зимний сезон 2009–2010 гг. для защиты подводного перехода магистрального газопровода и судов, оставшихся на зимней стоянке на створе подводного перехода. Если в 1958 г. суточные повышения уровня воды составили порядка 100–200 см, то в 2010 г. суточный рост уровня воды достигал более 3 м.

Хронология формирования наивысших уровней воды по гидрологическим постам Покровск, Табага, Якутск, Кангалассы и Намцы за 1958 и 2010 заторные годы представлена на рис. 2.

Наивысший уровень воды по г/п Покровск в 1958 г., равный 9803 см по Балтийской системе (далее – БС), наблюдался в 02 ч 25 мая, по г/п Табага – 9598 см БС в 22 ч 24 мая.

В 2010 г. уровень воды по г/п Покровск достиг наивысшего значения в 01 ч 20 мая и был равен 10 115 см БС, а по г/п Табага – в 03 ч 20 мая (9709 см БС).

Максимальный уровень воды при весеннем вскрытии р. Лены в 1958 г. по г/п Табага установился примерно на четыре часа раньше, чем по г/п Покровск (см. рис. 2).

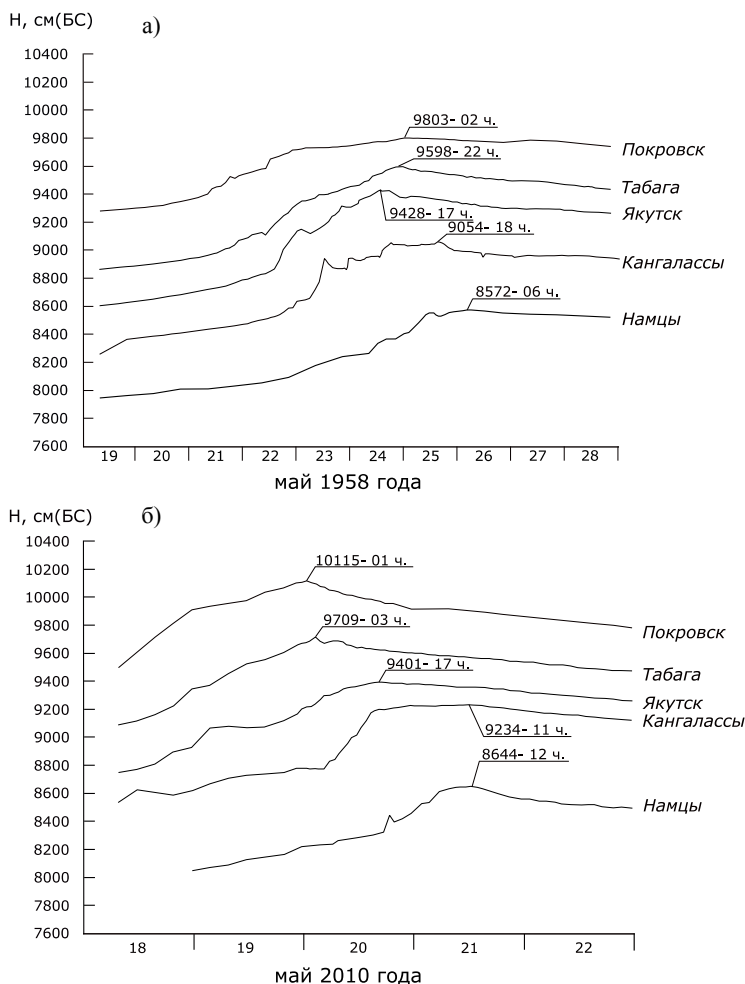


Рис. 2. Хронологический график изменения уровня воды в период вскрытия р. Лены в 1958 и 2010 гг.

В 2010 г. срок наступления наивысшего уровня воды по г/п Покровск опережает на два часа время достижения наивысшего уровня воды по г/п Табага.

Сравнение временных интервалов наступления наивысших уровней воды и средних скоростей ( $V_B$ ) их распространения при весеннем вскрытии р. Лены по гидрологическим постам Якутск, Кангалассы и Намцы по годам показывает следующее:

– в 1958 г. наивысшие уровни воды по времени суток на г/п Якутск, Кангалассы и Намцы были отмечены 24 мая в 17 ч (9428 см БС), 24 мая в 18 ч (9054 см БС) и 25 мая в 13 ч (8572 см БС) соответственно (см. рис. 2, а, табл. 2);



– в 2010 г. наивысшие уровни воды по времени суток по этим же гидрологическим постам достигали 20 мая в 17 ч (9401 см БС), 21 мая в 11 ч (9234 см БС) и 21 мая в 12 часов (8644 см БС) соответственно (см. рис. 2, б, табл. 2).

Таблица 2

Длительность ( $\Delta t$ ) и средняя скорость ( $\overline{V_B}$ ) распространения максимального уровня воды волны половодья

Наименование участков	Май 1958 г.				Май 2010 г.			
	Дни, по г/п	Время, ч, по г/п	$\Delta t$ , ч	$V_B$ , км/ч	Дни, по г/п	Время, ч, по г/п	$\Delta t$ , ч	$V_B$ , км/ч
Покровск – Табага	25 – 24	02 – 22	+4,0	11,8	20 – 20	01 – 03	+2,0	23,5
Табага – Якутск	24 – 24	22 – 17,5	+4,5	8,0	20 – 20	03 – 17	+14,0	2,6
Якутск – Кангалассы	24 – 24	17,5 – 18	+0,5	68,0	20 – 21	17 – 11	+18,0	1,9
Кангалассы – Намцы	24 – 26	18 – 6,5	+36,0	1,4	21 – 21	11 – 12	+1,0	36,0

Из представленных данных видно, что формирование максимального уровня воды распространяется от места возникновения затора вверх по течению и зависит от морфологии реки, определяемой наличием рукавов, множества островов и осередков (см. рис. 1), сложной конфигурацией рельефа дна, длительностью существования затора, а также характером половодья. А ниже по течению реки от места возникновения затора распространение максимального уровня воды по времени зависит от динамики образования затора, длительности его существования, а также от величины максимального уровня воды выше затора. Эти же факторы в совокупности определили среднюю скорость распространения максимального уровня половодья между гидрологическими постами (см. табл. 2).

Разность наивысших уровней воды по рассматриваемым гидрологическим постам в 2010 г. и наивысших уровней воды, возникших в 1958 г., следующая: Покровск – плюс 212 см, Табага – плюс 128 см, Якутск – минус 28 см, Кангалассы – плюс 180 см, Намцы – плюс 88 см (см. рис. 2).

Максимальные скорости подъема ( $V_n$ ) и спада ( $V_c$ ) уровней воды весеннего наводнения в 2010 г. в основном выше по сравнению со скоростями подъема и спада уровней воды, имевших место в 1958 г. Наблюдаемая разница в скоростях подъема и спада объясняется, скорее всего, особенностями добега волн половодья при ледоходе до мест отсутствия подвижек льда ниже г/п Намцы по руслу реки. Кроме того, в результате распространения высоких уровней воды вниз по течению реки максимальная скорость подъема уровня воды по г/п Намцы достигла 119 см/ч (табл. 3).

Далее по методике определения местоположения возникновения затора [Кусатов, 1977] нами рассмотрены и проанализированы изменения уклонов водной поверхности по гидрологическим постам от Покровска до Намцев, возникших в заторные 1958 и 2010 гг. (рис. 3).

Таблица 3

Максимальные скорости подъема ( $V_{II}$ ) и спада ( $V_C$ ) уровня воды

Годы	$V_{II}, V_C$ , см/ч	Гидрологические посты				
		Покровск	Табага	Якутск	Кангалассы	Намцы
1958	$V_{II}$	33	19	39	31	19
	$V_C$	5	9	11	20	23
2010	$V_{II}$	28	31	39	54	119
	$V_C$	17	21	21	12	47

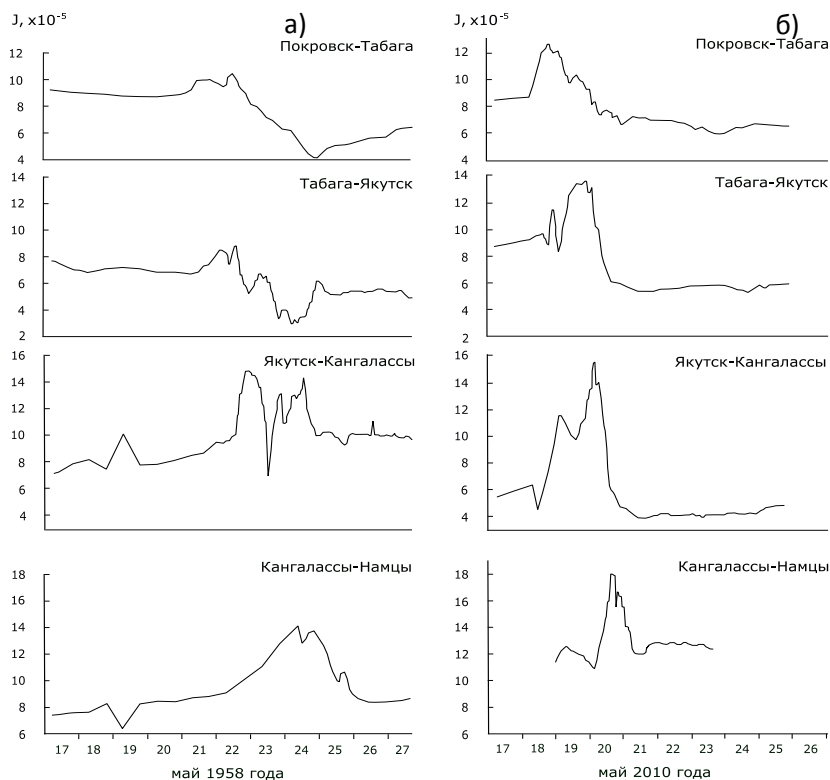


Рис. 3. Хронологический график изменения уклона водной поверхности р. Лены по участкам между гидрологическими постами в 1958 и 2010 гг.

Сравнительный анализ изменения уклонов водной поверхности в эти заторные годы показывает следующее:

– общий характер изменения уклонов водной поверхности ( $J$ ) в 1958 и 2010 гг. существенно отличается, а также различно количество пиков подъема и спада  $J$ ;

– значения  $J$  в 1958 г. до возникновения затора на участках Покровск – Табага и Табага – Якутск выше на  $2,8 \cdot 10^{-5}$  и  $2,7 \cdot 10^{-5}$  соответственно, чем значения  $J$  после разрушения затора. На участках Якутск – Кангалассы и Кангалассы – Намцы наблюдается обратная картина: значения  $J$  до возник-

новения затора ниже на  $2,6 \cdot 10^{-5}$  и  $1,2 \cdot 10^{-5}$  соответственно, чем значения  $J$  после разрушения затора (см. рис. 3, а);

– динамика изменения  $J$  в 2010 г. отличается от динамики 1958 г. До возникновения затора значения  $J$  на участках Покровск – Табага, Табага – Якутск и Якутск – Кангалассы выше на  $1,9 \cdot 10^{-5}$ ,  $2,7 \cdot 10^{-5}$  и  $0,7 \cdot 10^{-5}$  соответственно, чем значения  $J$  после разрушения затора. Между Кангалассами и Намцами значение  $J$  до возникновения затора ниже на  $1,0 \cdot 10^{-5}$ , чем значения  $J$  после разрушения затора (см. рис. 3, б).

Из этих данных видно, что особенности формирования и разрушения заторов определяют характерные изменения уклонов водной поверхности при весеннем вскрытии р. Лены в районе рассмотренных гидрологических постов. Кроме того, следует подчеркнуть, что наивысший уровень воды на г/п Якутск вызван повторной остановкой заторного льда между с. Кангалассы и с. Намцы 24 мая. Это подтверждается наибольшим уклоном на участке Кангалассы – Якутск. А наивысший уклон на участке Якутск – Табага является результатом подпора половодья (см. рис. 3, а).

Сравнение максимальных значений уклонов водной поверхности ( $J_{\max}$ ) в заторные 1958 и 2010 гг. показывает, что  $J_{\max}$  в 2010 г. на участках Покровск – Табага, Табага – Якутск, Якутск – Кангалассы и Кангалассы – Намцы выше на  $1,9 \cdot 10^{-5}$ ,  $4,7 \cdot 10^{-5}$ ,  $0,6 \cdot 10^{-5}$  и  $4,0 \cdot 10^{-5}$  соответственно, чем  $J_{\max}$ , зафиксированные на этих участках в 1958 г.

Минимальные значения уклонов водной поверхности  $J_{\min}$  в 2010 г. на участках Покровск – Табага, Табага – Якутск, Кангалассы – Намцы также выше на  $2,2 \cdot 10^{-5}$ ,  $2,5 \cdot 10^{-5}$  и  $2,6 \cdot 10^{-5}$  соответственно, чем  $J_{\min}$ , зафиксированные в 1958 г. А  $J_{\min}$  между г/п Якутск и г/п Кангалассы в 2010 г. ниже на  $3,2 \cdot 10^{-5}$ , чем  $J_{\min}$ , зафиксированный в 1958 г. (табл. 4).

Таблица 4

Изменение уклона ( $J$ ) водной поверхности

Наименование участков	День; час	$J_{\max} \cdot 10^{-5}$	День; час	$J_{\min} \cdot 10^{-5}$	$\Delta J$
Май 1958 г.					
Покровск – Табага	22; 12	10,6	24; 20	4,2	6,4
Табага – Якутск	22; 14	8,9	24; 04	2,9	6,0
Якутск – Кангалассы	22; 24	14,8	23; 12	7,1	6,7
Кангалассы – Намцы	24; 08	14,1	26; 12	8,4	5,7
Май 2010 г.					
Покровск – Табага	18; 20	12,5	23; 20	6,0	6,5
Табага – Якутск	19; 23	13,6	21; 16	5,4	8,2
Якутск – Кангалассы	20; 05	15,4	21; 13	3,9	11,5
Кангалассы – Намцы	20; 16	18,0	20; 4	11,0	7,0

Наблюдаемые значительные снижения  $J_{\min}$  между гидрологическими постами Табага и Якутск в 1958 г. и между гидрологическими постами Якутск и Кангалассы в 2010 г., на наш взгляд, связаны, скорее всего, с разницей мест возникновения заторов и динамикой их разрушения. В 2010 г. экстремально мощный затор возник на участке Табага – Якутск, где отмече-

на наибольшая величина уклона воды. При прорыве затора волна вскрытия перемещалась на нижние участки, создавая высокие уклоны водной поверхности. В 1958 г. голова затора находилась на участке Якутск – Кангалассы.

Для оценки интенсивности увеличения  $V_{\text{П}}$  и уменьшения  $V_{\text{С}}$  уклонов водной поверхности нами использованы соотношения (1).

Анализ интенсивности подъема  $V_{\text{П}}$  и спада  $V_{\text{С}}$  уклонов водной поверхности по гидрологическим постам также показывает, что  $V_{\text{П}}$  и  $V_{\text{С}}$  в 2010 г. в основном превышают их значения, фиксировавшиеся в 1958 г. (табл. 5). Характерно то, что в 1958 г. затор, возникший ниже пос. Жатай, частично разрушался, то есть происходили кратковременные прорывы заторного скопления льда. Отражение этого процесса четко видно на графике изменения уклона водной поверхности между гидрологическими постами Якутск и Кангалассы (см. рис. 3, а). Этот гидродинамический процесс вызвал резкое увеличение интенсивности спада уклона водной поверхности до  $2,1 \cdot 10^{-5}/\text{ч}$  с последующим ростом интенсивности подъема уклона водной поверхности примерно до  $0,8 \cdot 10^{-5}/\text{ч}$  (см. табл. 5). Частичное разрушение затора происходило под напором накапливаемой энергии водного потока. Следовательно, в 1958 г. скопление льда перемещается, и снова формируется затор из-за гидроморфологических особенностей русла реки на участке Жатай – Кангалассы (см. рис. 3, а).

Таблица 5

Максимальная интенсивность увеличения ( $V_{\text{П}}$ ) и уменьшения ( $V_{\text{С}}$ ) уклона водной поверхности

Годы	Максимальная интенсивность	Значения максимальной интенсивности по участкам, $10^{-5}/\text{ч}$			
		Покровск – Табага	Табага – Якутск	Якутск – Кангалассы	Кангалассы – Намцы
1958	$V_{\text{П}}$	0,17	0,37	0,79	0,14
	$V_{\text{С}}$	0,19	0,50	2,06	0,42
2010	$V_{\text{П}}$	0,32	0,52	0,44	0,59
	$V_{\text{С}}$	0,29	0,54	0,91	0,48

В 2010 г. характер изменения  $J$  между г/п Якутск и Кангалассы значительно отличается от изменения, зафиксированного в 1958 г. (см. рис. 3, табл. 5).

Особенность ледохода на р. Лене такова, что при развитии ледохода с юга на север периодически местами происходит его остановка и, соответственно, наблюдается скопление льда, затем освобождение, и снова начинается густой ледоход. При заторных явлениях этот процесс остановки льда принимает ярко выраженный характер. Вследствие этого интенсивно повышается уклон водной поверхности из-за большого скопления льда, вырастает скорость течения воды подо льдом, и достигается ее критическое значение для заторообразования. В результате происходит подныривание льдин под пологом скапливающегося льда, и полностью формируется затор. В процессе формирования затора повышается интенсивность подъема уклона водной поверхности по гидропостам.

При разрушении затора увеличение интенсивности спада уклона водной поверхности, скорее всего, характеризует интенсивность напорного продвижения потока и распространения волны половодья согласно данным табл. 5.

Указанные процессы являются существенным фактором переформирования русла р. Лены по следующим обстоятельствам.

Морфология русла р. Лены на участке Покровск – Намцы очень динамична. Ложе реки сложено достаточно мобильными песчаными грунтами, которые и в условиях открытого русла имеют тенденцию к смещению, а при интенсивном изменении динамики русловых потоков в период ледохода скорость такого смещения многократно увеличивается, в результате чего кардинально меняется морфология речного дна. Такого рода русловые процессы, в свою очередь, являются одним из факторов заторообразования, который может приводить к стеснению русла в тех местах, где ранее этого не наблюдалось.

При этом следует отметить, что систематизированных материалов наблюдений о деформации русла на этом участке нет. Имеются отдельные сведения: на речном флоте фиксируется изменение фарватера реки; в водохозяйственной системе оценивается только деформация дна реки на месте водозабора; наблюдения специалистов Федеральной службы по гидрометеорологии фиксируют положение дна по профилям гидрологических створов с целью расчета расхода воды через водное сечение.

Например, наиболее тяжелое положение для судоходства сложилось в 1998 г. по новому направлению судового хода ниже – о-ва Багалыр. Здесь во время половодья сформировалось корыто переката, в котором к концу навигации образовалась ложбина глубиной больше гарантированной. В 1999 г. на этом участке р. Лены между пос. Жатай и с. Кангалассы установился мощный затор с головой на 1611 км от устья Лены. В начале июня 1999 г., примерно на 1 км выше остановочного пункта «Красный маяк» (1611 км), была обнаружена промоина длиной в несколько сотен метров и максимальной глубиной 26 м при средней глубине дна 9–10 м [Ухов, Кильмянинов, 1999].

Также, например, в 60-е гг. XX в. дрены водозабора г. Якутска были засыпаны песком высотой более 6 м, по этой причине происходили перебои с подачей воды в город. В 80-е гг. эти дрены повисли над дном реки, и в город подавалась некачественная из-за большого количества взвешенных веществ вода. В настоящее время для поддержания дрен водозабора в рабочем состоянии приходится ежегодно проводить дноуглубительные работы.

Значительны русловые деформации и в районе гидрологического створа Табага. С конца 60-х гг. прошлого века по настоящее время величина максимального размыва превышает 8, а намыва – 7 м.

### **Заключение**

1. Сравнительный анализ гидрометеорологических условий формирования наивысших уровней весеннего половодья в 1958 и 2010 гг. не дает оснований для вывода о существенном преобладании условий 2010 г. При этом

максимальный уровень половодья 2010 г. превысил максимальный уровень половодья 1958 г. (являвшийся до этого историческим) более чем на 1 м.

2. Интенсивность изменений наивысших уровней и уклонов водной поверхности по рассмотренным гидрологическим постам при вскрытии р. Лены с заторообразованием связана с меняющимися гидроморфологическими условиями и гидрологическими процессами динамики формирования и разрушения затора на р. Лене. При этом в 2010 г. зафиксированы ранее и позже не регистрируемые максимальная скорость подъема уровня воды, равная 119 см/ч, и максимальный уклон водной поверхности, равный  $18,0 \cdot 10^{-5}$ , между гидрологическими постами Кангалассы и Намцы. С наибольшей вероятностью данный факт объясняется особенностями водно-ледового режима при прохождении волны вскрытия, обусловленными противозаторными мероприятиями.

3. Сравнение процессов формирования максимальных уровней весеннего половодья в 1958 и 2010 гг. позволяет предметно поддержать высказывавшиеся ранее мнения о как минимум низкой эффективности противозаторных мероприятий, проводимых на Лене.

4. Осуществляемые на затороопасных участках реки работы, связанные со значительным переформированием русла, могут приводить к нарушениям выявленных теорией и практикой закономерностей образования заторов льда и, как следствие, к значительным ошибкам в прогнозах и консультациях о максимальных уровнях половодья.

5. На участке р. Лены от Покровска до Намцев распространение волны половодья при весеннем ледоходе имеет неравномерный характер. В результате этого спасательные мероприятия вполне могут оказаться неэффективными. Следовательно, для реализации эффективных предупредительных противопаводковых мероприятий необходимо ускорить организацию исследований условий заторообразования при весеннем ледоходе с целью разработки методики таких мероприятий на наиболее характерных участках среднего течения р. Лены.

#### Список литературы

Антропогенный фактор в заторообразовании и весеннем наводнении при ледоходе на р. Лене / К. И. Кусатов, А. П. Аммосов, З. Г. Корнилова, Р. Н. Шпакова // Метеорология и гидрология. 2012. № 6. С. 54–60. <https://doi.org/10.3103/S1068373912060064>

Бузин В. А. Затопы льда и заторные наводнения на реках. СПб. : Гидрометеоздат, 2004. 203 с.

Бузин В. А., Горошкова Н. И., Стриженок А. В. Максимальные заторные уровни воды северных рек России в условиях изменения климата и антропогенного воздействия на процесс заторообразования // Метеорология и гидрология. 2014. № 12. С. 55–61.

Кильмянинов В. В. Анализ условий формирования и долгосрочный прогноз заторных уровней на р. Лене // Метеорология и гидрология. 1992. № 4. С. 82–89.

Кильмянинов В. В. Влияние метеорологических условий перед началом ледохода на масштаб заторных наводнений на р. Лене // Метеорология и гидрология. 2012. № 4. С. 86–89.

Кильмянинов В. В., Тазатинов В. М., Шепелев В. В. Затопы – ледовые монстры рек Якутии // Наука и техника в Якутии. 2001. № 1. С. 36–40.

*Кусатов К. И.* Срезки заторных уровней воды // *Метеорология и гидрология.* 1977. № 10. С. 113–116.

*Мостахов С. Е.* Река Лена. Якутск : Якут. кн. изд-во, 1972. 142 с.

*Ноговицын Д. Д., Кильмянинов В. В.* К вопросу о прогнозировании заторных явлений на р. Лене // *Наука и техника в Якутии.* 2007. № 1(12). С. 19–24.

Республика Саха (Якутия). Комплексный атлас / Л. С. Волкова [и др.]. Якутск : ФГУП Якут. Аэрогеодез. предприятие, 2009. 239 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 17: Лено-Индигирский район. Л. : Гидрометеоздат, 1972. 652 с.

*Рождественский А. В., Бузин В. А., Шалашина Т. Л.* Условия формирования и вероятные значения наивысших уровней воды р. Лена у г. Якутск // *Метеорология и гидрология.* 2010. № 1. С. 77–87.

*Ухов Г. А., Кильмянинов В. В.* Заторные явления на реках Ленского бассейна // *Сиб. науч. вестн. Новосибирск,* 1999. Вып. 3. С. 198–211.

Erosion potential of dynamic ice breakup in Lower Athabasca River. Part I: Field measurements and initial quantification [Electronic resource] / S. Beltaos, T. Carter, R. Rowsell, G. S. DePalma Sarah // *Cold Regions Science and Technology.* 2018. Vol. 149. P. 16–28. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2018.01.013>.

Going with the flow: Hydrologic response of middle Lena River (Siberia) to the climate variability and change [Electronic resource] / E. Gautier, Th. Dépret, F. Costard, C. Virmoux, A. Fedorov, D. Grancher, P. Konstantinov, D. Brunstein // *Journal of Hydrology.* 2018. N 557. P. 475–488. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.034>.

Global Warming and Human – Nature Dimension in Northern Eurasia, *Global Environmental Studies* [Electronic resource] / T. Hiyama, H. Takakura (eds.). [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4648-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4648-3_3).

A major advance of tropical Andean glaciers during the Antarctic cold reversal [Electronic resource] / V. Jomelli, V. Favier, M. Vuille, R. Braucher, L. Martin, P.-H. Blard, C. Colose, D. Brunstein, F. He, M. Khodri, D. L. Bourle's, L. Leanni, V. Rinterknecht, D. Grancher, B. Francou, J. L. Ceballos, H. Fonseca, Z. Liu, B. L. Otto-Bliesner. <https://doi.org/10.1038/nature13546>

Ice-jam flood delineation: Challenges and research needs, *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques* [Electronic resource] / N. Kovachis, B. C. Burrell, M. Huokuna, S. Beltaos, B. Turcotte, M. Jasek. <http://dx.doi.org/10.1080/07011784.2017.1294998>

Lessons learned from past ice-jam floods concerning the challenges of flood mapping, *International Journal of River Basin Management* [Electronic resource] / K.-E. Lindenschmidt, M. Huokuna, B.C. Burrell, S Beltaos. <https://doi.org/10.1080/15715124.2018.1439496>

Ice-jam flood risk assessment and mapping / K.-E. Lindenschmidt, A. Das, Pr. Rokaya, T. Chu // *Hydrol. Process.* 2016. N 30. P. 3754–3769. Published online 15 June 2016 in Wiley Online Library ([wileyonlinelibrary.com](http://wileyonlinelibrary.com)) [Electronic resource]. <https://doi.org/10.1002/hyp.10853>.

Divergence in seasonal hydrology across northern Eurasia: Emerging trends and water cycle linkages / M. A. Rawlins, H. Ye, D. Yang, A. Shiklomanov, K. C. McDonald // *J. Geophys. Res.*, 114, D18119. <https://doi.org/10.1029/2009JD011747>.

Hydrological Variability and Changes in the Arctic Circumpolar Tundra and the Three Largest Pan-Arctic River Basins from 2002 to 2016 / L. K. Suzuki, K. Matsuo, D. Yamazaki, K. Ichii, Y. Iijima, F. Papa, L.Y. Yanagi, T. Hiyama // *Remote Sens.* 2018. 10. 402. <https://doi.org/10.3390/rs10030402>.

## Changes in Water Levels and Water Surface Slopes in Case of Congestion on the Lena River

A. P. Ammosov

*Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS, Yakutsk*

R. N. Shpakova

*Moscow State Institute of International Relations, Moscow*

K. I. Kusatov

*Yakutia Hydrometeorology and Environment Control Office, Yakutsk*

Z. G. Kornilova

*Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS, Yakutsk*

**Abstract.** This is a comparative analysis of snowmelt flood extension within the area in the Middle Lena from Pokrovsk gauging station to Namtsy one in case of ice jamming which comes with formation of the highest historical water levels in 1958 and 2010. The change in water surface slope and the rate of increase and decrease of the water level at the analyzed gauging stations has been shown. It is revealed that it is necessary to conduct a research of conditions of ice jamming during spring ice drift in order to establish the measures to realize flood prevention. Comparison of conditions and processes of formation of maximum water levels of spring flood in the years under review is of considerable scientific interest because in 2010, in contrast to 1958, on the considered section of the Lena river there were major changes of anthropogenic nature: the transformation of the river bed and measures to weaken the ice cover in order to reduce the probability of ice congestion. The paper concludes that a much larger increase in water level in 2010 is likely to be caused by anthropogenic factor. The intensity of change in the highest water-surface elevations and water-surface slopes as measured at the stream gaging stations covered, at periods when the Lena River ice breaks up with ice jams created depends on the change in the characteristics of the river's morphology and the hydrological processes that affect the dynamics of the ice jams formation and breaking-up at the Lena River. In 2010, the highest ever recorded water level rising speed (119 cm/h) and the greatest ever water-surface slope (18.04·10<sup>-5</sup>) were registered at the section of the river between the Kangalassy and the Namtsy gaging stations. At the section of the Lena River between Pokrovsk and Namtsy, the seasonal high water expands unevenly when spring ice drifts occur. Therefore, the emergency and rescue action taken may fail to be effective. Thus, in order to have effective action in place to successfully prevent floods, the arrangements need to be sped up for the research to be held to study and understand the conditions causing ice jams to be created when spring ice drifts occur so that the flood prevention practices (methods) could be developed for the most typical sections throughout the Middle Lena River.

**Keywords:** ice blocking, ice jamming, highest water level, water surface slope, the Lena River, channel deformation, flood, anthropogenic factor.

**For citation:** Ammosov A.P., Shpakova R.N., Kusatov K.I., Kornilova Z.G. Changes in Water Levels and Water Surface Slopes in Case of Congestion on the Lena River. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2019, vol. 28, pp. 3-20. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.28.3> (in Russian)

### References

Kusatov K.I., Ammosov A.P., Kornilova Z.G., Shpakova R.N. Antropogennyj faktor v zatoroobrazovanii i vesennem navodnenii pri ledokhode na r. Lena [Anthropogenic factor in



ice formation and spring flooding at the Lena river]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2012, no. 6, pp. 54-60. <https://doi.org/10.3103/S1068373912060064>. (in Russian)

Buzin V.A. *Zatory l'da i zatornye navodneniya na rekakh* [Ice jams and congestion on the rivers]. Saint-Peterburg, Gidrometeoizdat Publ., 2004, 203 p. (in Russian)

Buzin V.A., Goroshkova N.I., Strizhenok A.V. Maksimalnye zatornye urovni vody severnyh rek Rossii v usloviyah izmeneniya klimata i antropogennogo vozdeystviya na process zatoroobrazovaniya. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2014, no. 12, pp. 55-61. (in Russian)

Kil'myaninov V.V. Analiz usloviy formirovaniya i dolgosrochnyj prognoz zatornykh urovnej na r. Lene [Analysis of formation conditions and long-term prognosis of congestion levels on the Lena river]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 1992, no. 4, pp. 82-89. (in Russian)

Kil'myaninov V.V. Vliyaniye meteorologicheskikh usloviy pered nachalom ledohoda na masshtab zatornykh navodnenij na r. Lena. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2012, no. 4, pp. 86-89. (in Russian)

Kil'myaninov V.V., Tazatinov V.M., Shepelev V.V. Zatory – ledovye monstry rek YAKUTII [Congestion – the ice monsters of the rivers of Yakutia]. *Nauka i tekhnika v YAKUTII*, 2001, no. 1, pp. 36-40. (in Russian)

Kusatov K.I. Srezki zatornykh urovnej vody [Cutting of mastic water levels]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 1977, no. 10, pp. 113-116. (in Russian)

Mostakhov S.E. *Reka Lena* [Lena river]. Yakutsk, YAKUTSKOE KNIZHNOE IZDATELSTVO Publ., 1972, 142 p. (in Russian)

Nogovicyn D.D., Kil'myaninov V.V. K voprosu o prognozirovanii zatornykh yavlenij na r. Lene [On the prediction of congestion on the Lena river]. *Nauka i tekhnika v YAKUTII*, 2007, no. 1(12), pp. 19-24. (in Russian)

Volkova L.S., Gnatyuk G.A., Dektyarev A.G. [et al.]. *Respublika Saha (YAKUTIIA). Kompleksnyj atlas* [The Republic of Sakha (Yakutia). Comprehensive Atlas]. Yakutsk, FGUP YAKUTSKOE AEROGEODEZICHESKOE PREDPRIYATIE Publ., 2009, 239 p. (in Russian)

Rozhdestvenskij A.V., Buzin V.A., SHalashina T.L. Usloviya formirovaniya i veroyatnye znacheniya naivysshih urovnej vody r. Lena u g. Yakutsk. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2010, no. 1, pp. 77-87.

Uhov G.A., Kil'myaninov V.V. *Zatornye yavleniya na rekah Lenskogo bassejna* [Congestion on the rivers of the Lena basin]. *Sibirskij nauchnyj vestnik*, Novosibirsk, 1999, is. 3, pp. 198-211. (in Russian)

*Resursy poverhnostnykh vod SSSR. T. 17. Leno-Indigirskij rajon* [Surface water resources of the USSR. Vol. 17. The Lena-Indigirka district]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1972, 652 p. (in Russian)

Beltaos, S., Carter, T., Rowsell, R., DePalma Sarah G.S. Erosion potential of dynamic ice breakup in Lower Athabasca River. Part I: Field measurements and initial quantification. *Cold Regions Science and Technology*, 2018, vol. 149, pp. 16-28. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2018.01.013>

Gautier E., Dépret Th., Costard F., Virmoux C., Fedorov A., Grancher D., Konstantinov P., Brunstein D. Going with the flow: Hydrologic response of middle Lena River (Siberia) to the climate variability and change. *Journal of Hydrology*, 2018, 557, pp. 475-488 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.034>.

Hiyama T., Takakura H. (eds.). *Global Warming and Human – Nature Dimension in Northern Eurasia, Global Environmental Studies*. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4648-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4648-3_3)

Jomelli V., Favier V., Vuille M., Braucher R., L. Martin Blard, P.-H., Colose C., Brunstein D., He F., Khodri M., Bourle's D.L., Leanni L., Rinterknecht V., Grancher D., Franco B., Ceballos J.L., Fonseca H., Liu Z., Otto-Bliesner B.L. *A major advance of tropical Andean glaciers during the Antarctic cold reversal*. <https://doi.org/10.1038/nature13546>.

Kovachis N., Burrell B.C., Huokuna M., Beltaos S., Turcotte B., Jasek M. Ice-jam flood delineation: Challenges and research needs. *Canadian Water Resources Journal. Revue canadienne des ressources hydriques*. <http://dx.doi.org/10.1080/07011784.2017.1294998>.

Lindenschmidt K.-E., Huokuna M., Burrell B.C., Beltaos S. Lessons learned from past ice-jam floods concerning the challenges of flood mapping. *International Journal of River Basin Management*. <https://doi.org/10.1080/15715124.2018.1439496>.

Lindenschmidt K.-E., Das A., Rokaya Pr., Chu T. Ice-jam flood risk assessment and mapping. *Hydrol. Process*, 2016, 30, 3754-3769. <https://doi.org/10.1002/hyp.10853>.

Rawlins M.A., Ye H., Yang D., Shiklomanov A., McDonald K.C. Divergence in seasonal hydrology across northern Eurasia: Emerging trends and water cycle linkages. *J. Geophys. Res.* 114, D18119 [Electronic resource]. <https://doi.org/10.1029/2009JD011747>.

Suzuki L.K., Matsuo K., Yamazaki D., Ichii K., Iijima Y. Papa, F., Yanagi L.Y., Hiyama T. Hydrological Variability and Changes in the Arctic Circumpolar Tundra and the Three Largest Pan-Arctic River Basins from 2002 to 2016 [Electronic resource]. *Remote Sens*, 2018, no. 10, 402 p. <https://doi.org/10.3390/rs10030402>.

**Аммосов Александр Прокопьевич**  
доктор технических наук, профессор

**Ammosov Alexander Prokopievich**  
Doctor of Science (Technical), Professor

**Шпакова Раиса Николаевна**  
кандидат географических наук, доцент  
Московский государственный институт  
международных отношений  
(университет)  
119454, Россия, Москва,  
просп. Вернадского, 76, корп. 1  
тел.: 8(919)7656811  
e-mail: production2003@mail.ru

**Shpakova Raisa Nikolaevna**  
Candidate of Sciences (Geography)  
Moscow State Institute of International  
Relations (MGIMO)  
76 (bldg. 1), Prospect Vernadskiy, Moscow,  
119454, Russian Federation  
tel.: 8(919)7656811  
e-mail: production2003@mail.ru

**Кусатов Константин Иннокентьевич**  
ведущий гидролог  
отдел гидрологических прогнозов  
Якутское управление по гидрометеорологии  
и мониторингу окружающей среды  
677010, Россия, г. Якутск,  
ул. Я. Потапова, 8  
тел.: 8(4112)36-02-28  
e-mail: 360228@mail.ru

**Kusatov Konstantin Innokentievich**  
Senior Hydrologist  
Department of Hydrological Forecasts  
Yakutia Hydrometeorology and Environment  
Control Office  
8, Ya. Potapov st., Yakutsk, 677010,  
Russian Federation  
tel.: 8(4112)36-02-28  
e-mail: 360228@mail.ru

**Корнилова Зоя Григорьевна**  
кандидат технических наук  
Институт физико-технических проблем  
Севера им. В. П. Ларионова СО РАН  
677891, Россия, г. Якутск,  
ул. Октябрьская, 1  
тел.: 8(4112)39-06-71  
e-mail: zoyz\_korn@mail.ru

**Kornilova Zoya Grigorievna**  
Candidate of Science (Technical)  
Larionov Institute of Physical and Technical  
Problems of the North SB RAS  
1, Oktyabr'skaya st., Yakutsk, 677891,  
Russian Federation  
tel.: 8(4112)39-06-71  
e-mail: zoyz\_korn@mail.ru

**Дата поступления:** 09.01.2019

**Received:** January, 09, 2019