

УДК 556.53

DOI: 10.34753/HS.2020.2.1.44

**СВЯЗЬ ЭКСТРЕМУМОВ  
МИНИМАЛЬНОГО ЗИМНЕГО  
СТОКА РЕК С  
ТЕМПЕРАТУРНЫМ И ЛЕДОВЫМ  
ФАКТОРАМИ**

Е.В. Гуревич

*Государственный гидрологический институт,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
gewita@yandex.ru*

**RELATION OF EXTREMES OF  
MINIMUM WINTER RIVER FLOW  
WITH TEMPERATURE AND ICE  
FACTORS**

Elena V. Gurevich

*State hydrological Institute,  
St. Petersburg, Russia  
gewita@yandex.ru*

**Аннотация.** Работа посвящена изучению изменения стока рек при разных температурных и ледовых условиях зимних сезонов на примере отдельных рек северо-запада России. Происходящие изменения климата в последние три десятилетия привели к изменениям условий формирования водного режима рек, в том числе зимнего меженного стока. Поэтому изучение изменений зимнего стока рек в условиях потепления климата имеет важное значение как для познания общих закономерностей формирования речного стока, так и для рационального управления водными ресурсами с учетом изменений величины стока рек.

Температура воздуха и толщина льда являются интегральными показателями изменений термических условий в речном бассейне и в реке, регулируя через криогенные процессы питание подземных вод и их разгрузку в реки в зимний период. Поэтому в качестве основных предикторов в работе использованы температура воздуха, толщина льда и зимний сток рек. Для получения количественных оценок был выполнен сравнительный анализ изменения величины стока рек к концу зимы при разных температурных и ледовых условиях. Проанализированы ряды зимнего стока рек бассейнов рек Ловать, Сясь, Северная Двина и Онега с общим периодом наблюдений за стоком и толщиной речного льда – 1955-2016 гг., температурой воздуха – 1936-2016 гг.

На основе анализа рядов наблюдений за стоком рек, толщиной льда и температурой воздуха

**Abstract.** Studies performed in different river basins in the North-West of Russia have shown that a combination of temperature and ice conditions plays a significant role in changing the winter water content of rivers.

Air temperature and ice thickness are integral indicators of changes in thermal conditions in the river basin and in the river, regulating through cryogenic processes the supply of groundwater and its discharge into rivers in winter. Therefore, the main predictors used in the work are air temperature, ice thickness, and winter river flow. To obtain quantitative estimates, a comparative analysis of changes in river flow by the end of winter under different temperature and ice conditions was performed. The series of winter runoff of rivers in the basins of the Lovat, Syas, Northern Dvina and Onega rivers with the total period of observations of the runoff and the thickness of the river ice are analyzed – 1955-2016 years, temperature – 1936-2016 years.

Based on the analysis of a series of observations of river flow, ice thickness, and air temperature lasting more than 50 years, it is concluded that the lowest values of the minimum winter flow of rivers were observed in cold winters, and the highest values were observed in milder winter seasons. With comparable pre-winter water content of rivers in a series of mild non-thawing winters, river flow in the studied basins decreased less intensively and the minimum winter flow was higher on average by 10-20%, and in some cases more.

продолжительностью более 50 лет сделаны выводы о том, что наименьшие значения минимального зимнего стока рек наблюдались в холодные зимы, а наибольшие – в более мягкие зимние сезоны. Исследования, выполненные в разных речных бассейнах, показали, что в изменении зимней водности рек существенную роль играет сочетание температурных и ледовых условий. При сопоставимой предзимней водности рек в серию мягких безоттепельных зим сток рек в исследуемых бассейнах снижался менее интенсивно и минимальный зимний сток был выше в среднем на 10-20%, а в отдельных случаях и более.

**Ключевые слова:** холодные и теплые зимы; зимний речной сток; гидрографы стока рек; предзимняя водность рек; температура воздуха; толщина льда.

### Введение

Речной лед играет существенную роль в физических, биологических и химических процессах, контролирующих пресноводные режимы в холодных регионах. Кроме того, изменение количественных и временных характеристик ледяного покрова рек может иметь огромные экономические последствия для развития речного хозяйства.

Высокая и низкая межени как сезонные экстремумы гидрологических характеристик дают представление не только об амплитуде колебаний минимального стока рек, но и являются проявлениями климатической нестабильности, которая выражается в чередовании холодных и теплых периодов на фоне маловодных и многоводных фаз, то есть в изменении температурных и водных условий формирования речного стока. Экстремальные значения минимального зимнего стока определяются не только предзимней водностью рек, но и вариациями температурных и ледовых условий. В аспекте зимнего стока похолодание или потепление зим через термические эффекты в реке и на водосборе оказывают влияние на изменчивость расходов воды как через изменения соотношения жидких и твердых осадков,

**Keywords:** cold and warm winters; winter river flow; river flow hydrographs; pre-winter water content of rivers; air temperature; ice thickness.

процессов таяния льда и снега, продолжительности зимы, так и через толщину ледяного покрова рек [Марков, Гуревич, 2008; Гуревич, 2012]. Ледяной покров оказывает задерживающий и аккумулирующий эффекты на разгрузку подземных вод по длине реки в течение холодного периода года [Соколов, Любимов, 1986; Марков, Гуревич, 2018]. Поэтому в более мягкие зимы происходит большая сработка запасов подземных вод в речных бассейнах, чем в суровые зимы, что отражается в увеличении объемов межени стока рек [Smith et al., 2007].

### Материалы и методы

Для сравнительного анализа динамики снижения зимнего стока малых рек в зависимости от суровости зим были выбраны 10 рек бассейна р. Ловать, 7 рек бассейна р. Сясь, 5 рек бассейна р. Северная Двина и 3 реки бассейна р. Онега с общим периодом наблюдений за стоком и толщиной речного льда с 1955 по 2016 год. Суровость зим оценивалась по многолетним рядам наблюдений за температурой воздуха на метеостанциях Великие Луки, Тихвин, Вологда, Онега с общим периодом наблюдений 1936-2016 гг.

Зима может быть теплая и маловодная, холодная и средняя по водности или теплая и

многоводная и т.д., в результате чего вклад температурного фактора в формирование стока при неравных условиях водности рек будет также неодинаков. Вследствие отличия водных и температурных условий в разные зимы и пространственной неоднородности величин стока в речном бассейне, оценка влияния периодов потепления или похолодания зим на величину речного стока может быть выполнена с рядом объективных допущений.

Сравнение гидрографов стока рек и величин стока в теплую и холодную зимы при относительно равной водности рек в начале зим проводилось при выполнении следующих основных условий сравнения стока рек:

- сопоставимость предзимней водности рек в верховье, т.е. одинаковые или близкие начальные условия снижения расходов воды на малых реках;
- отличие зимних температур воздуха в сравниваемые сезоны;
- отсутствие оттепелей и жидких осадков зимой.

Как показал анализ исходной информации, за имеющийся период наблюдений можно отобрать только 1-2 (в редких случаях 3) пары зим, при которых соблюдаются эти условия

### Результаты и обсуждения

Выполнено сравнение гидрографов стока р. Оки ( $F_{\text{вдсб}}=310 \text{ км}^2$ , бассейн р. Ловать) в разные по суровости зимы 1957-58 гг. и 1963-64 гг. при сопоставимом предзимнем увлажнении речного бассейна в ноябре (рисунок 1а). Средняя температура воздуха зимнего сезона 1957-58 гг.  $T_{\text{ср.ХП-П}} = -6^\circ\text{C}$  и зимы 1963-64 гг.  $T_{\text{ср.ХП-П}} = -8^\circ\text{C}$ . Несмотря на небольшую разницу средней температуры воздуха (в  $-2^\circ\text{C}$ ) в эти зимы, внутрисезонные температурные колебания были существенны (таблица 1, данные метеостанции Великие Луки), что отразилось на различных

ледовых условий в сравниваемые сезоны. Толщина февральского льда в более теплую зиму 1957-58 гг. на посту р. Ока – д. Борок составляла 32 см, что на 10 см меньше чем в феврале более холодной зимы 1963-64 гг.

Такое же сравнение гидрографов стока произведено для р. Дымка ( $F_{\text{вдсб}}=112 \text{ км}^2$ , бассейн р. Сясь) в мягкую зиму 1980-81 гг. при  $T_{\text{ср.ХП-П}} = -6,1^\circ\text{C}$  и холодную зиму 1967-68 гг. ( $T_{\text{ср.ХП-П}} = -12,6^\circ\text{C}$ ) при одинаковых начальных условиях снижения расходов воды (таблица 1, рисунок 1б). Толщина февральского льда к концу зимы 1980-81 гг. на р. Дымка у д. Домачево составляла 28 см и была на 13 см меньше, чем в конце более холодного зимнего сезона 1967-68 гг.

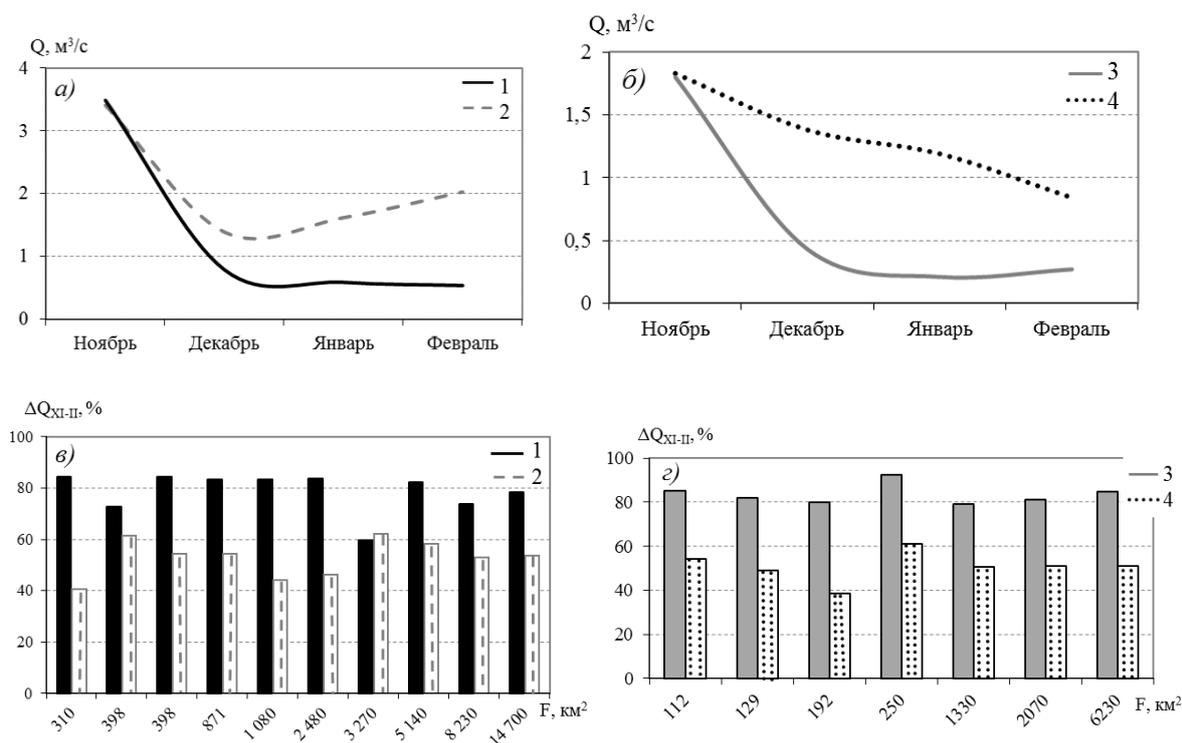
Как видно из рисунков 1а и 1б, при сходных расходах воды в ноябре, но при разном температурном режиме зим, наблюдаются существенные отличия темпов снижения стока рек, что выразилось в превышении расходов воды рек в теплую зиму над величиной стока рек в более суровый зимний сезон. Так, среднемесячные расходы воды р. Оки у д. Борок к концу холодной зимы 1963-64 гг. были в 3,8 раза ниже, чем в более мягкую зиму 1957-58 гг. (рисунок 1а). Сток р. Дымки у д. Домачево к концу холодной зимы 1967-68 гг. был ниже в 3,1 раза, чем в более теплую зиму 1980-81 гг. (рисунок 1б).

Соотношение изменения водности рек к февралю относительно ноября по длине бассейна демонстрируют рисунки 1в и 1г. В целом в бассейне р. Ловать снижение стока рек к концу холодной зимы было больше чем в теплые зимы в среднем на 26% (рисунок 1в), а в бассейне р. Сясь – на 33%. Наименьшие значения минимального зимнего стока рек наблюдались в холодные зимы, а наибольшие – в более мягкие зимние сезоны.

**Таблица 1.** Среднемесячные зимние температуры воздуха (°С)

**Table 1.** Average monthly winter air temperatures (°C)

Зимний период	Декабрь	Январь	Февраль	Средняя за зиму температура воздуха
метеостанция Великие Луки				
1957-58 гг.	-4,3	-7,2	-6,9	-6,1
1963-64 гг.	-8,2	-5,8	-10,1	-8,0
метеостанция Тихвин				
1980-81 гг.	-5,2	-6,2	-7,0	-6,1
1967-68 гг.	-11,1	-19,0	-7,8	-12,6



**Рисунок 1.** Изменение стока рек в разные по суровости зимы в бассейнах:

а) гидрограф стока р. Ока – д. Борок  $F=310 \text{ км}^2$ ; б) гидрограф стока р. Дымка – д. Домачево  $F=112 \text{ км}^2$ ;

в) снижение стока рек к февралю относительно ноября (%) в бассейне р. Ловать;

г) снижение стока рек к февралю относительно ноября (%) в бассейне р. Сясь:

1 – зима 1963-64 гг. ( $T_{\text{ср. XII-II}} = -8^\circ\text{C}$ ); 2 – зима 1957-58 гг. ( $T_{\text{ср. XII-II}} = -6,1^\circ\text{C}$ );

3 – зима 1967-68 гг. ( $T_{\text{ср. XII-II}} = -12,6^\circ\text{C}$ ); 4 – зима 1980-81 гг. ( $T_{\text{ср. XII-II}} = -6,1^\circ\text{C}$ )

**Figure 1.** Changes in river flow in different severe winters in the basins:

a) flow hydrograph of the river Oka – village Borok  $F=310 \text{ km}^2$ ;

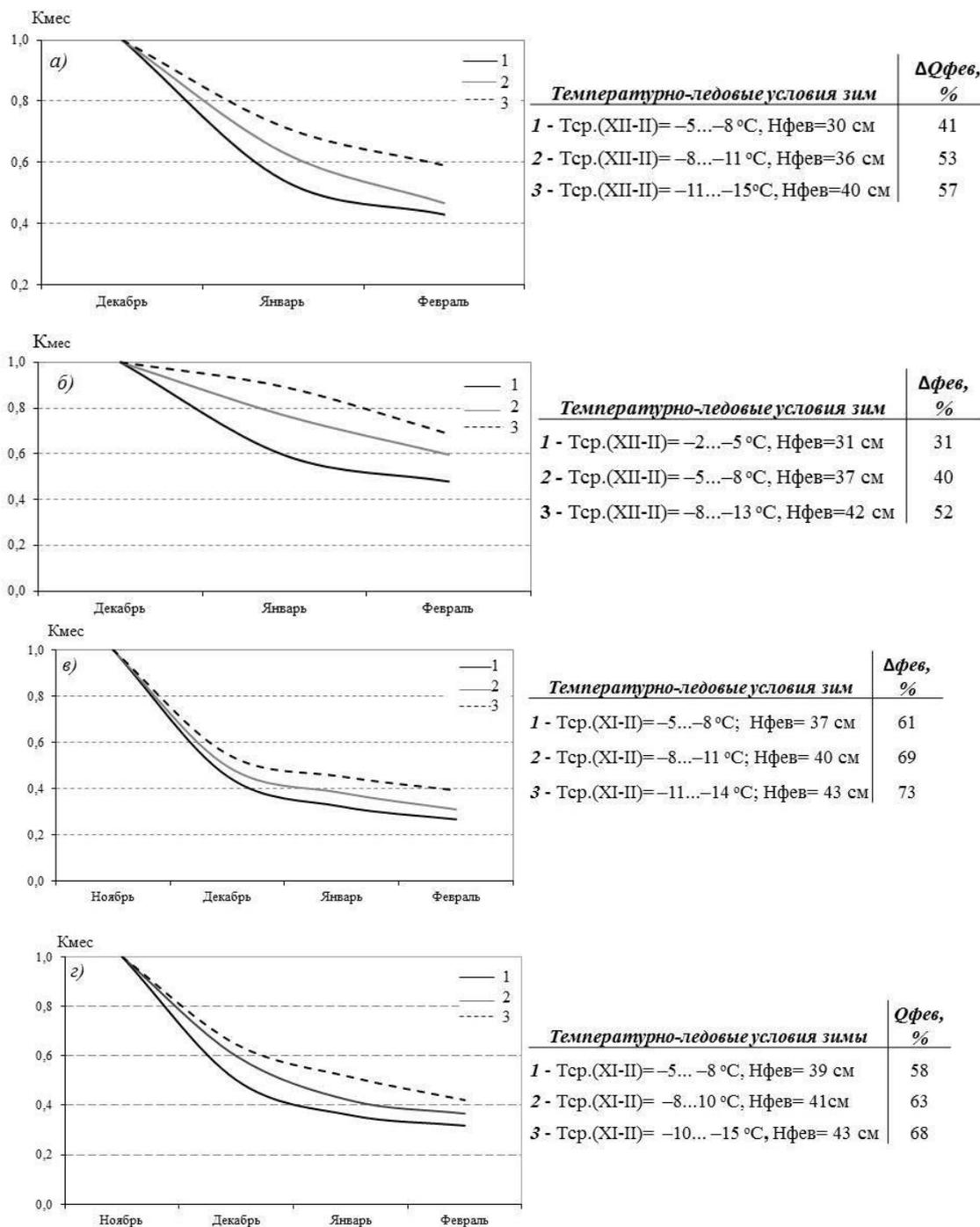
b) flow hydrograph of the river Dymka – village Domachevo  $F=112 \text{ km}^2$ ;

c) decrease in river flow in February relative to November (%) in the basin of the river Lovat;

d) decrease in river flow in February relative to November (%) in the basin of the river Syas:

1 – winter 1963-64 ( $T_{\text{av. XII-II}} = -8^\circ\text{C}$ ); 2 – winter 1957-58 ( $T_{\text{av. XII-II}} = -6.1^\circ\text{C}$ );

3 – winter 1967-68 ( $T_{\text{av. XII-II}} = -12.6^\circ\text{C}$ ); 4 – winter 1980-81 ( $T_{\text{av. XII-II}} = -6.1^\circ\text{C}$ )



**Рисунок 2.** Изменение зимнего стока рек при разных температурных и ледовых условиях:

- а) бассейн р. Сясь  $F < 250 \text{ км}^2$ ;                      б) бассейн р. Ловать  $F < 400 \text{ км}^2$ ;  
 в) бассейн р. Северная Двина  $F < 255 \text{ км}^2$ ;                      г) бассейн р. Онега  $F < 900 \text{ км}^2$ ;

1 – холодная зима; 2 – средняя по суровости зима; 3 – мягкая зима

**Figure 2.** Changes in winter river flow under different temperature and ice conditions:

- а) the basin of the river Syas  $F < 250 \text{ км}^2$ ;                      б) the basin of the river Lovat  $F < 400 \text{ км}^2$ ;  
 в) the basin of the river Northern Dvina  $F < 255 \text{ км}^2$ ;                      г) the basin of the river Onega  $F < 900 \text{ км}^2$ ;

1 – cold winter; 2 – average severity of winter; 3 – mild winter

Для рек бассейнов рек Сясь, Ловать, Северная Двина и Онега была получена серия кривых истощения стока за многолетний период, подтверждающих связь стока небольших рек с зимней температурой воздуха и толщиной речного льда (рисунок 2). Для этого

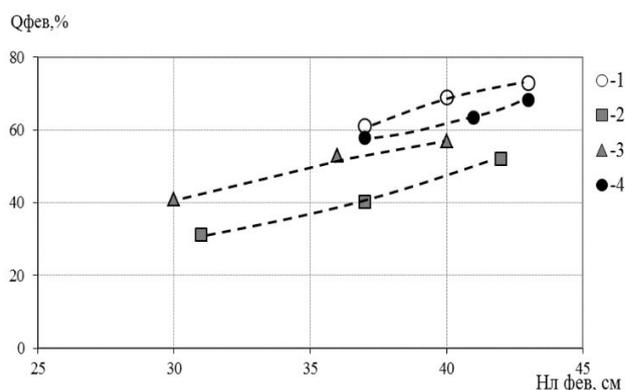
исследовались ежегодные кривые истощения стока, которые рассчитывались по группам рек. При расчете кривых истощения стока использовались относительные значения стока рек ( $K_{мес}$ ), что позволяет обобщить эту величину для нескольких рек, не пренебрегая площадью водосбора. Величина  $K_{мес}$  характеризует собой снижение стока рек каждый месяц относительно расхода воды в декабре или ноябре ( $K_{мес} = Q_{XII, I, II} / Q_{XII}$  или  $K_{мес} = Q_{XI, XII, I, II} / Q_{XI}$  соответственно, где  $Q$  – среднемесячные расходы воды). Включение ноября в анализ кривых истощения стока северных рек бассейнов рек Северная Двина и Онега обусловлено более ранним переходом температуры воздуха через ноль. Относительные значения  $K_{мес}$  осреднялись по группе исследуемых рек. Для формирования серийных выборок совокупность разбивалась по признаку средней за зиму температуры воздуха. Для обобщенных по температурным характеристикам серий зим по полученным  $K_{мес}$  рассчитывались средние кривые истощения стока за периоды декабрь – февраль (для бассейнов рек Сясь и Ловать) и ноябрь – февраль (для бассейнов рек Северная Двина и Онега), а также величина уменьшения расходов воды с ноября (декабря) к февралю ( $\Delta Q_{фев}$ , %).

Сравнение величин  $\Delta Q_{фев}$  за серии разных по суровости зим показало, что наибольшие отклонения снижения стока рек за зиму от начальных зимних условий к февралю отмечаются в холодные зимы. Так, в относительно мягкие зимы в верховье р. Сясь при средней толщине речного льда в феврале 30 см сток малых рек с декабря по февраль снизился на 41%, а в более холодные зимы при толщине льда 40 см снижение стока было интенсивнее и составило 57%, т.е. в холодные зимы февральские расходы воды были ниже на 16% (рисунок 2а).

При зимней температуре воздуха в диапазоне ( $-10...-15^{\circ}\text{C}$ ) с начала зимы сток рек уменьшился на 52% в бассейнах р. Ловать, на 68-73% в бассейнах р. Северная Двина и р. Онега (рисунки 2б, 2в, 2г). В серию зим с температурами воздуха в диапазоне ( $-5...-8^{\circ}\text{C}$ ) сток рек в исследуемых бассейнах снижался менее интенсивно и был выше на 10-21%, чем в более

суровые зимние периоды. Более интенсивное снижение стока рек к концу зим в бассейнах р. Северная Двина и р. Онега обусловлены более суровыми криогенными процессами на водосборах северных районов.

Интенсивность и продолжительность спада зимних расходов воды в реках находится в прямой зависимости от предзимних запасов воды в речном бассейне и развития процессов ледообразования, аккумулирующих значительную часть зимнего речного стока [Соколов, Черная, 1984; Чижов, 1990]. Характер влияния толщины февральского льда ( $H_{л\text{ фев}}$ ) на снижение стока рек к концу зимнего сезона в разных речных бассейнах показывает рисунок 3, полученный на основе ранее выполненного обобщения серий зимних сезонов (таблица 1, рисунок 2). Рисунок 3 отражает общую тенденцию, подтверждающую связь февральской толщины льда небольших рек с величиной снижения стока за зиму. Меньшая толщина льда соответствует теплой зиме, большая – холодной. При увеличении толщины речного льда на 10 см минимальный сток рек в бассейнах р. Сясь снижался на 16%, р. Ловать на 21%, р. Северная Двина на 11%. В бассейне р. Онега минимальный сток в теплую зиму был на 10% выше, чем в холодную.



**Рисунок 3.** Обобщенный график связи стока рек к концу зимы с толщиной льда (февраль): 1 – р. Северная Двина; 2 – р. Ловать; 3 – р. Сясь; 4 – р. Онега; пунктирная линия – тенденции  
**Figure 3.** Generalized graph of the relationship of river flow by the end of winter with ice thickness (February): 1 – river Northern Dvina; 2 – river Lovat; 3 – river Syas; 4 – river Oнега; dotted line – the trend

Толщина льда является индикатором климатических изменений [Magnuson et al., 2000] и интегральным показателем суровости зим. Чем ниже температура воздуха зимой и больше толщина ледяного покрова, тем быстрее происходит снижение стока в реке. В менее суровые зимы мы наблюдаем уменьшение толщины речного льда и сохранение в реке более высоких расходов воды к концу зимы. В мягкие зимы влияние ледяного покрова на сток ослабевает пропускная способность русел улучшается за счет уменьшения толщины льда, снижаются потери стока на аккумуляцию воды в ледяном покрове и увеличивается питание рек подземными водами. Таким образом, в фазу потепления зим при относительно неизменных годовых осадках будет происходить большая сработка запасов подземных вод в речных бассейнах, чем это было ранее.

Влияние температуры воздуха через твердую фазу воды на зимний речной сток проявляется на разных уровнях взаимодействия, создавая цепную реакцию изменений в общем речном бассейне. Отрицательную температуру воздуха, хотя она и является первопричиной появления льда на реках, нельзя считать доминантой в процессе формирования зимнего стока рек. Это «корректирующий» фактор, который взаимодействует с фактором предзимних бассейновых запасов воды. Результатами этого взаимодействия на реках являются термический режим, ледовые явления и зимние расходы воды и т.п., а на речном водосборе – промерзание почвогрунтов, миграция влаги к фронту промерзания и др. Степень взаимодействия будет определяться интенсивностью похолодания, водностью сезона

### Литература

Гуревич Е.В. Влияние суровости зимы на неравномерность формирования зимнего стока в речном бассейне // Метеорология и гидрология. 2012. № 7. С. 92-99.

Марков М.Л., Гуревич Е.В. О регулирующей роли ледяного покрова рек в водном режиме территорий // Материалы всероссийской

и процессом водообмена в речном бассейне, отражением которого является изменение соотношений поверхностных и подземных вод. Зимой, при отсутствии жидких осадков, реки питаются преимущественно подземными водами, интенсивность поступления которых к реке регулируется криогенными процессами на поверхностном и в подземном водосборах, а интенсивность разгрузки в реки регулируется соотношением уровней воды в реке и подземных вод. Поэтому в результативном аспекте температура воздуха и процессы, происходящие в реке (нарастание льда, изменение расходов и уровней воды и т.п.) являются интегральными показателями изменения термических условий во всем речном бассейне.

### Заключение

Температура воздуха и толщина льда рек являются показателями изменений термических условий в реке и в речном бассейне. Исследования, выполненные в разных речных бассейнах, показали, что в изменении зимней водности рек существенную роль играет ледовый фактор. При сопоставимой предзимней водности рек в серию мягких безоттепельных зим сток рек в исследуемых бассейнах снижался менее интенсивно и минимальный зимний сток был выше на 10-20%, а в отдельных случаях и более, чем в более суровые зимние периоды при большей толщине льда на реках.

Результаты, полученные в ходе исследования связи речного стока с ледовым фактором, расширяют научное представление об особенностях формирования зимнего стока рек в изменяющихся климатических условиях.

### References

Chizhov A.N. *Formirovanie ledyanogo pokrova i prostranstvennoe raspredelenie ego tolshchiny [Ice pack formation and space distribution of the ice pack depth]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1990. 125 p. (In Russian; abstract in English).

Gurevich E.V. Winter severity effects on the nonuniformity of winter flow formation in a river basin.

научно-практической конференции с международным участием «Водохозяйственные проблемы и рациональное природопользование» (г. Оренбург, 13-15 марта 2008 г.). Оренбург: ГОУ ОГУ. Пермь: Пермский университет, 2008. Ч. 1. Водохозяйственные проблемы. С. 193-198.

Марков М.Л., Гуревич Е.В. Негативное влияние потепления зим на расходы рек и уровни дренируемых ими грунтовых вод [Электронный ресурс] // Независимый электронный журнал «ГеоИнфо». 2018. URL: <https://clck.ru/MNkLd> (дата обращения: 01.03.2020).

Соколов Б.Л., Любимов Г.А. Ледяной покров и зимний сток рек восточной части БАМа // Труды ГГИ. Выпуск 312. Вопросы гидрологии БАМа / Под ред. Б.М. Доброумова. Л.: Гидрометеиздат, 1986. С.11-33.

Соколов Б.Л., Черная Ф.Ф. Оценка ежегодных потерь зимнего стока на образование речных наледей и речного льда (на примере Северо-Востока СССР) // Труды ГГИ. Выпуск 300. Исследования подземного стока. Л.: Гидрометеиздат, 1984. С. 50-61.

Чижов А.Н. Формирование ледяного покрова и пространственное распределение его толщины. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 125 с.

Magnuson J.J., Wynne R.H., Benson B.J., Robertson D.M. Lake and river ice as a powerful indicator of past and present climates // Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen. 2000. Vol. 27. Iss. 5. P. 2749-2756.

DOI: [10.1080/03680770.1998.11898166](https://doi.org/10.1080/03680770.1998.11898166)

Smith L.C., Pavelsky T.M., MacDonald G.M., Shiklomanov A.I., Lammers R.B. Rising minimum flows in northern Eurasian rivers: A growing influence of groundwater in the high-latitude hydrologic cycle. *Journal of Geophysical Research. Biogeosciences*. 2007. Vol. 112. Iss. G4. G04S47. DOI: [10.1029/2006JG000327](https://doi.org/10.1029/2006JG000327)

*Russian Meteorology and Hydrology*, 2012, vol. 37, iss. 7, pp. 495-500. (Russ ed.: Gurevich E.V. Vliyanie surovosti zimy na neravnomernost' formirovaniya zimnego stoka v rechnom basseine. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2012, no. 7, pp. 92-99). DOI: [10.3103/S1068373912070096](https://doi.org/10.3103/S1068373912070096)

Markov M.L., Gurevich E.V. O reguliruyushchei roli ledyanogo pokrova rek v vodnom rezhime territorii [On the regulatory role of river ice cover in the water regime of territories]. *Materialy vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Vodokhozyaistvennye problemy i ratsional'noe prirodopol'zovanie» (g. Orenburg, 13-15 marta 2008) [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation "Water management problems and rational nature management" (Orenburg, March 13-15, 2008)]*. Orenburg: GOU OGU. Perm': Permskii universitet, 2008, vol. 1, pp. 193-198. (In Russian).

Magnuson J.J., Wynne R.H., Benson B.J., Robertson D.M. Lake and river ice as a powerful indicator of past and present climates. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 2000, vol. 27, iss. 5, pp. 2749-2756.

DOI: [10.1080/03680770.1998.11898166](https://doi.org/10.1080/03680770.1998.11898166)

Markov M.L., Gurevich E.V. Negativnoe vliyanie potepeniya zim na raskhody rek i urovni dreniruemyykh imi gruntovykh vod [The negative impact of wintering warming on river flows and levels of groundwater drained by them]. *Nezavisimyi elektronnyi zhurnal «GeoInfo» [Independent electronic journal "GeoInfo"]*, 2018. Available at: <https://clck.ru/MNkLd> (In Russian).

Smith L.C., Pavelsky T.M., MacDonald G.M., Shiklomanov A.I., Lammers R.B. Rising minimum flows in northern Eurasian rivers: A growing influence of groundwater in the high-latitude hydrologic cycle. *Journal of Geophysical Research. Biogeosciences*, 2007, vol. 112, iss. G4, G04S47. DOI: [10.1029/2006JG000327](https://doi.org/10.1029/2006JG000327)

Sokolov B.L., Chernaya F.F. Otsenka ezhegodnykh poter' zimnego stoka na obrazovanie rechnykh naledei i rechnogo l'da (na primere Severo-Vostoka SSSR) [Estimation of annual losses of winter runoff

on the formation of river ice and river ice (on the example of the North-East of the USSR)]. *Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta. Vypusk 300. Issledovaniya podzemnogo stoka [Transactions of the State Hydrological Institute. Issue 300. Underground Flow Research]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1984, pp. 50-61. (In Russian).

Sokolov B.L., Lyubimov G.A. Ledyanoi pokrov i zimnii stok rek vostochnoi chasti BAMA [Ice cover and winter runoff of rivers of the eastern part of BAM]. In Dobroumov B.M. (ed.) *Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta. Vypusk 312. Voprosy gidrologii BAMA [Transactions of the State Hydrological Institute. Issue 312. Issues of Hydrology of BAM]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1986, pp.11-33. (In Russian).