

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2021-4-99-111>

УДК 556.06

## Опыт разработки методики долгосрочного прогноза сроков вскрытия ото льда рек бассейна р. Вятки

**Ю.А. Павроз**

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр  
Российской Федерации, г. Москва, Россия  
Sheryl@yandex.ru*

Разработана методика долгосрочного прогноза сроков вскрытия ото льда рек бассейна р. Вятки. В ходе выполнения разработки установлено влияние распределений аномалий среднемесячных значений температуры поверхности океанов и геопотенциалов в информативных районах на уровнях  $H_{100}$  и  $H_{500}$  над Северным полушарием на процесс разрушения ледяного покрова на реках.

Расположение и границы информативных районов в полях  $H_{100}$  и  $H_{500}$  выявлялись с помощью дискриминантного анализа, а в качестве потенциальных предикторов были использованы коэффициенты разложения полей аномалий среднемесячных значений  $H_{100}$  и  $H_{500}$  за январь и февраль, а также аномалий среднемесячной температуры воды в энергоактивных зонах Северной Атлантики и северо-западной части Тихого океана по естественным ортогональным функциям.

Применение пошагового регрессионного анализа дало возможность разработать комплексные прогностические уравнения хорошего и удовлетворительного качества ( $S/\sigma = 0,45-0,73$ ) для прогноза сроков вскрытия ото льда рек бассейна р. Вятки. Выявлено наличие существенного влияния полей геопотенциалов на уровнях  $H_{100}$  и  $H_{500}$  и пространственного распределения аномалий температуры поверхности Северной Атлантики и северо-запада Тихого океана в январе и феврале на сроки вскрытия.

Предлагается в дальнейшем усовершенствовать методику путем установления и учета влияния температуры воздуха в период заблаговременности прогноза, максимальной за зиму толщины льда и других косвенных характеристик на процессы вскрытия рек бассейна р. Вятки ото льда.

*Ключевые слова:* ледовый режим, долгосрочный прогноз, вскрытие рек ото льда, коэффициенты разложения, поля геопотенциалов, ледовые весенние явления, энергоактивные зоны океанов, комплексное прогностическое уравнение

## Experience in developing a method for long-term forecasting of the ice breakup time for the Vyatka River basin

**Y.A. Pavroz**

*Hydrometeorological Research Center of Russian Federation Moscow, Russia  
Sheryl@yandex.ru*

An attempt is made to develop a method for long-term forecasting of the ice breakup time for the Vyatka River basin, to identify the impact of the distribution of sea surface

temperature and geopotential height in the informative regions at the levels H100 and H500 over the Northern Hemisphere on the river ice breakup.

The location and boundaries of the informative regions in the fields of H<sub>100</sub> and H<sub>500</sub> were revealed by the discriminant analysis, the EOF expansion coefficients of the fields of anomalies of monthly mean values of H<sub>100</sub> and H<sub>500</sub> for January and February and the anomalies of monthly mean sea surface temperature in the North Atlantic and Northwest Pacific were used as potential predictors.

The stepwise regression analysis allowed deriving good and satisfactory ( $S/\sigma = 0.45-0.73$ ) complex prognostic equations for forecasting the ice breakup time for the Vyatka River basin. The essential influence of H<sub>100</sub> and H<sub>500</sub> geopotential height fields and the spatial distribution of sea surface temperature anomalies in the North Atlantic and Northwest Pacific in January and February on the river ice breakup time is revealed.

It is proposed to improve the method by considering the impact of air temperature, maximum ice thickness per winter, and other indirect characteristics on the processes of river ice breakup in the Vyatka River basin.

*Keywords:* ice regime, long-range forecast, river ice breakup, expansion coefficients, geopotential height fields, spring ice phenomena, energy-active zones of the oceans, complex prognostic equation

## Введение

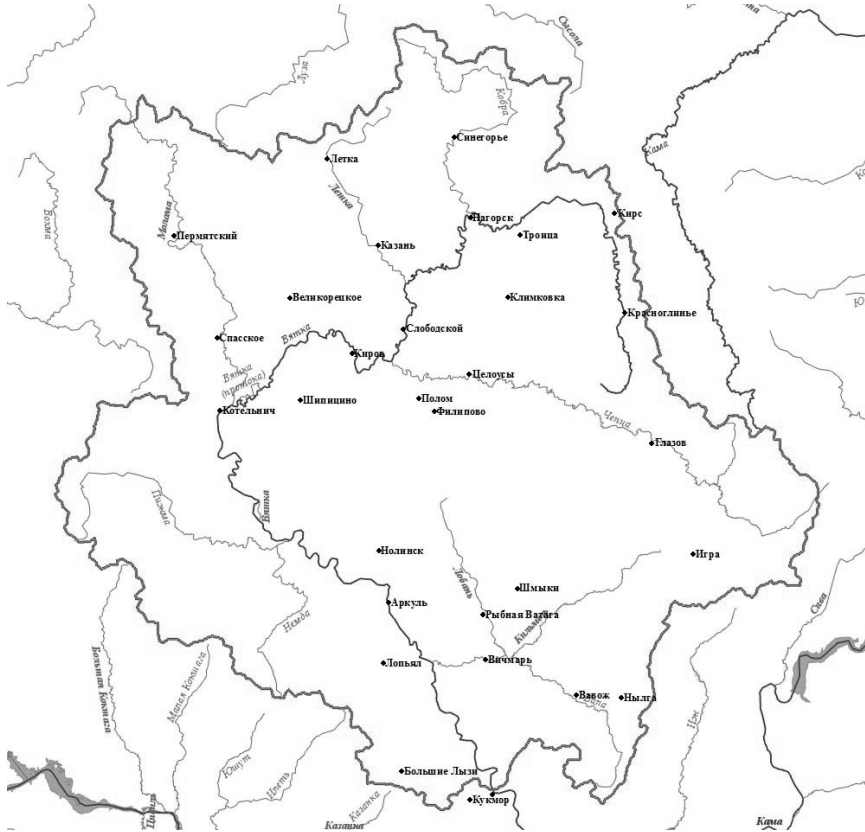
Методики долгосрочного прогноза вскрытия рек ото льда, используемые в настоящее время для выпуска оперативных прогнозов, разработаны на основе данных наблюдений до 2001 года. За последние годы в Гидрометцентре России накоплен большой опыт составления долгосрочных прогнозов, в связи с чем возникла идея усовершенствовать методику прогноза применительно к бассейну реки Вятки с использованием более полного архива гидрометеорологических данных (за период с 1977 по 2018 год). Вятка является важной транспортной артерией Кировской области, в связи с чем разработка методики долгосрочного прогноза вскрытия ото льда представляется весьма актуальной.

Разработанная методика позволяет учитывать влияние атмосферных процессов на всем Северном полушарии, что дает наиболее полную характеристику особенностей метеорологических полей для выделения наиболее значимых областей. Другая важная группа предикторов, которая была включена в разработку прогностической методики – это характеристики теплового режима поверхности океанов, где наблюдается наибольшая теплоотдача из океана в атмосферу. С помощью пошагового регрессионного анализа выявляются наиболее значимые из потенциальных предикторов. Применение данной методики позволило улучшить заблаговременность и надежность долгосрочных ледовых прогнозов.

## Физико-географические особенности ледового режима рек бассейна Вятки

Река Вятка находится на востоке Европейской территории России, относится к крупнейшим притокам р. Камы и впадает в нее на 1584 км от Южного порта Москвы. Общая протяженность реки 1310 км, площадь

водосбора 129 тыс. км<sup>2</sup>. Вятка имеет большое хозяйственное значение для Кировской области – она удовлетворяет хозяйственно-питьевые, судоходные и промышленные нужды, а также по реке осуществляются местные перевозки пассажиров и грузов (рис. 1).



**Рис. 1.** Гидрографическая сеть бассейна реки Вятки.  
**Fig. 1.** Hydrographic network of the Vyatka River basin.

Климатологические особенности бассейна Вятки определяются его географическим положением, закономерностями атмосферной циркуляции и характером рельефа. Рассматриваемая территория располагается на востоке умеренно-теплой и умеренно-влажной атлантико-континентальной европейской области умеренного климатического пояса. Наряду с этим велико влияние морских воздушных масс, несущих влагу с Атлантического океана, что существенно влияет на сроки перехода температуры воздуха через ноль градусов и, следовательно, на сроки начала ледовых явлений [7]. Образование заберегов, шугохода и ледохода начинается обычно в конце октября, осенний ледоход начинается

в среднем через три дня после появления заберегов и шуги и продолжается в основном не более 10 суток. На большинстве рек ледяной покров устанавливается преимущественно в первой декаде ноября. Продолжительность ледостава изменяется по годам примерно от 130 до 190 суток и в среднем за многолетний период наблюдений составляет около 160 суток, т. е. более 5 месяцев. Средняя многолетняя толщина льда рек бассейна Вятки составляет 53 см [5]. Весной с наступлением положительных температур воздуха начинается таяние и разрушение ледяного покрова.

На территории Вятского бассейна устойчивый переход температуры через 0 °С наблюдается с 5 по 10 апреля. Процессы вскрытия и очищения ото льда начинаются на юге и распространяются на север. Вскрытие рек начинается в южной части 9–10 апреля. Наиболее раннее разрушение льда наблюдается на реках Суна, Нурминка, Нылга, Шошма. Далее вскрытие равномерно переходит в северные части бассейна, и наиболее позднее разрушение льда наблюдается в 20-х числах апреля на реках Летка, Кобра, Молома, в верховье Вятки. Средняя многолетняя норма вскрытия во всем исследуемом регионе 17 апреля, разница вскрытия северной части и южной – 10 дней.

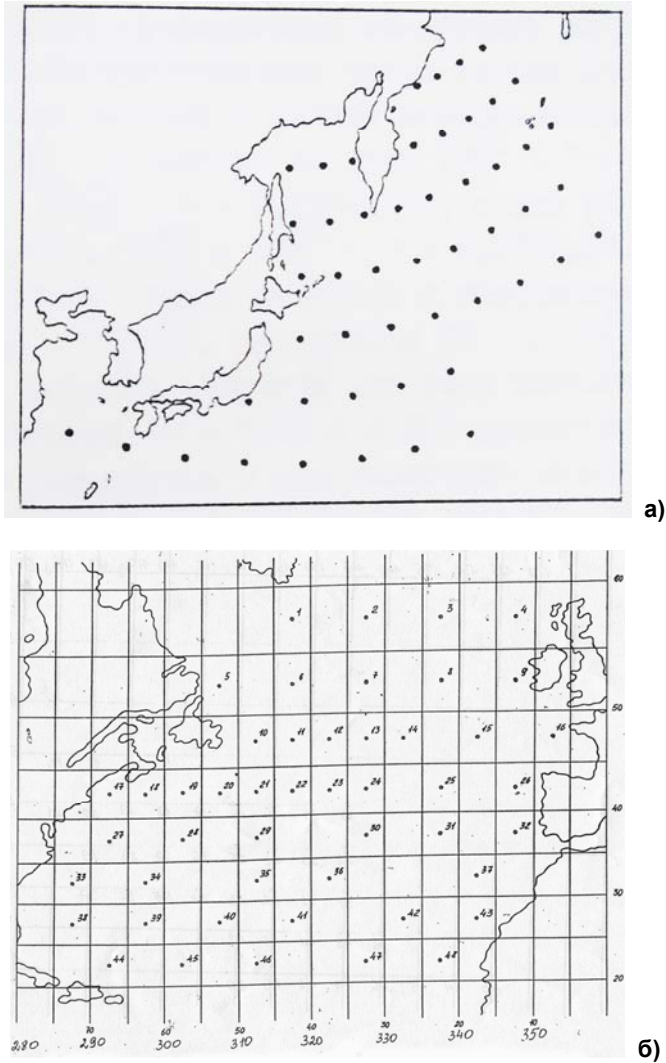
### **Исходные гидрометеорологические данные**

Сведения о сроках начала весенних ледовых явлений у опорных гидрологических постов были выбраны из гидрологических ежегодников за период с 1966 по 2014 год, а в качестве характеристики теплового состояния поверхности океанов рассматривались коэффициенты разложения полей температуры поверхности океана (ТПО) в энергоактивных районах Северной Атлантики и северной части Тихого океана по естественным ортогональным функциям (е.о.ф.).

В настоящее время в Гидрометцентре России создан информативный банк океанологических данных, который включает в себя сведения о среднемесячной температуре воды поверхности океанов Северного полушария в узлах пятиградусной сетки с 1957 года и ежемесячно пополняется за прошедший месяц в начале следующего месяца. В Северной Атлантике энергоактивный район состоит из 48 точек, а в северо-западной части Тихого океана – из 50 точек, выбранных на основе проведенных океанологами Гидрометцентра России исследований [6]. Расположение энергоактивных районов и отобранных информативных точек представлено на рис. 2.

Другая группа гидрометеорологических данных, которая использовалась при разработке методики долгосрочного прогноза сроков вскрытия рек бассейна Вятки, – это характеристики атмосферной циркуляции. В качестве показателей циркуляции и потенциальных предикторов были использованы поля геопотенциала  $H_{100}$  и  $H_{500}$  на всем протяжении Северного полушария в узлах регулярной сетки. Разложение этих полей

по е.о.ф позволяет сконцентрировать основную информацию по каждому полю в нескольких первых (главных) членах разложения.



**Рис. 2.** Схема расположения точек, по наблюдениям которых произведено разложение по естественным составляющим поля аномалии температуры северной части Тихого океана (а) и поверхности Северной Атлантики (б).

**Fig. 2.** Diagram of the points lactation, according to the observations of which the decomposition of the surface temperature anomaly of the North Pacific Ocean (a) and North Atlantic (б) the was carried out according to the natural components of the field.

На сегодняшний день наиболее полными и объективными данными по полям метеорологических характеристик являются данные реанализа, полученные как на основе наблюдений, так и по результатам моделирования. В данной работе использованы данные реанализа, полученные с помощью модели Integrated Forecasting System (IFS) Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП) [<https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily>]. Кроме наземных, авиационных наблюдений, ЕЦСПП в рамках оперативной деятельности по ассимиляции и мониторингу данных регулярно обрабатывает данные, поступающие примерно из 90 спутниковых продуктов. Всего ежедневно обрабатывается и используется в общей сложности порядка 40 миллионов наблюдений, подавляющее большинство из которых – это данные дистанционного (спутникового) зондирования. ЕЦСПП разработал проект ERA-Interim – глобальный атмосферный реанализ с 1979 года. В настоящей работе использовались данные реанализа ERA-Interim, разработанного ЕЦСПП и включающего среднемесячные данные за период с 1979 года из области Северного полушария в пределах от 40 до 85° с. ш. Были использованы данные по полям геопотенциала на уровнях  $H_{100}$  и  $H_{500}$  с широтно-долготным разрешением сетки  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ . Данные были получены в формате GRIB (.grb) с последующей обработкой и созданием специализированного электронного архива полей геопотенциалов на уровнях  $H_{100}$  и  $H_{500}$  с 1957 по 2018 год.

### Методика прогноза

Многолетние исследования, проводившиеся в Гидрометцентре России, позволили установить, что влияние распределения аномалий ТПО в энергетических зонах Северной Атлантики и северо-запада Тихого океана на сроки ледовых явлений прослеживается практически на всех замерзающих реках нашей страны. При этом наибольшее влияние ТПО отмечается для рек европейской территории и Западной Сибири. На сроки вскрытия рек ото льда, как правило, оказывает влияние распределение ТПО в январе и феврале, когда наблюдается наибольшая за зимний период теплоотдача из океана в атмосферу, а в апреле влияние океана резко уменьшается. Влияние распределения полей геопотенциала в ноябре, декабре и январе значимо для вскрытия южных рек России, в январе и феврале – для вскрытия рек средней полосы и Урала, для рек севера наблюдается влияние распределения метеорологических полей в марте [3, 4].

Выполненные в рамках обсуждаемой задачи исследования показали, что для обеспечения достаточной заблаговременности прогноз вскрытия рек Вятского бассейна может быть составлен уже в первой декаде марта и может быть основан на учете коэффициентов разложения полей аномалии среднемесячных значений температуры воды за январь и февраль в Северной Атлантике и на северо-западе Тихого океана, а также среднемесячных полей геопотенциала  $H_{100}$  и  $H_{500}$  за январь и февраль. При этом

требовалось прежде всего установить информативные районы Северного полушария, в пределах которых атмосферные процессы оказывают наибольшее влияние на процесс разрушения ледяного покрова на реках бассейна Вятки.

Для выделения таких районов использовался метод дискриминантного анализа, суть которого заключается в том, что для каждого гидрологического района или участка реки многолетний ряд отклонений от нормы сроков вскрытия ( $\Delta D$ ) разбивается на три класса: 1) раньше нормы ( $\Delta D < -0,673\sigma$ ); 2) норма ( $|\Delta D| < 0,673\sigma$ ); 3) позже нормы ( $\Delta D > 0,673\sigma$ ). По этим классам были разделены и ежегодные значения геопотенциалов в каждом узле координатной сетки на всем Северном полушарии. Далее вычислялись: 1) средние значения величин геопотенциалов в каждой точке, раньше и позже нормы; 2) их разность  $d = x_p - x_n$ ; 3) чтобы исключить влияние дисперсии, для анализа используется отношение  $d^2/\sigma^2$ . [3] На основе многочисленных экспериментов было установлено, что те узлы можно считать информативными, где  $d^2/\sigma^2 \geq 0,6$ , а при выявлении наиболее значимых полей таковыми считались поля, охватывавшие не менее 15 информативных узлов. Таким образом в ходе выполненных расчетов с использованием методов дискриминантного анализа были выявлены значимые поля метеовеличин для каждого гидрологического района, в пределах которых атмосферные процессы оказывают наиболее существенное влияние на вскрытие рек бассейна Вятки.

Примечательно, что географическое расположение выявленных информативных районов является неслучайным. Так, в дальнейшем при разработке методики прогноза в прогностические уравнения выявлено:

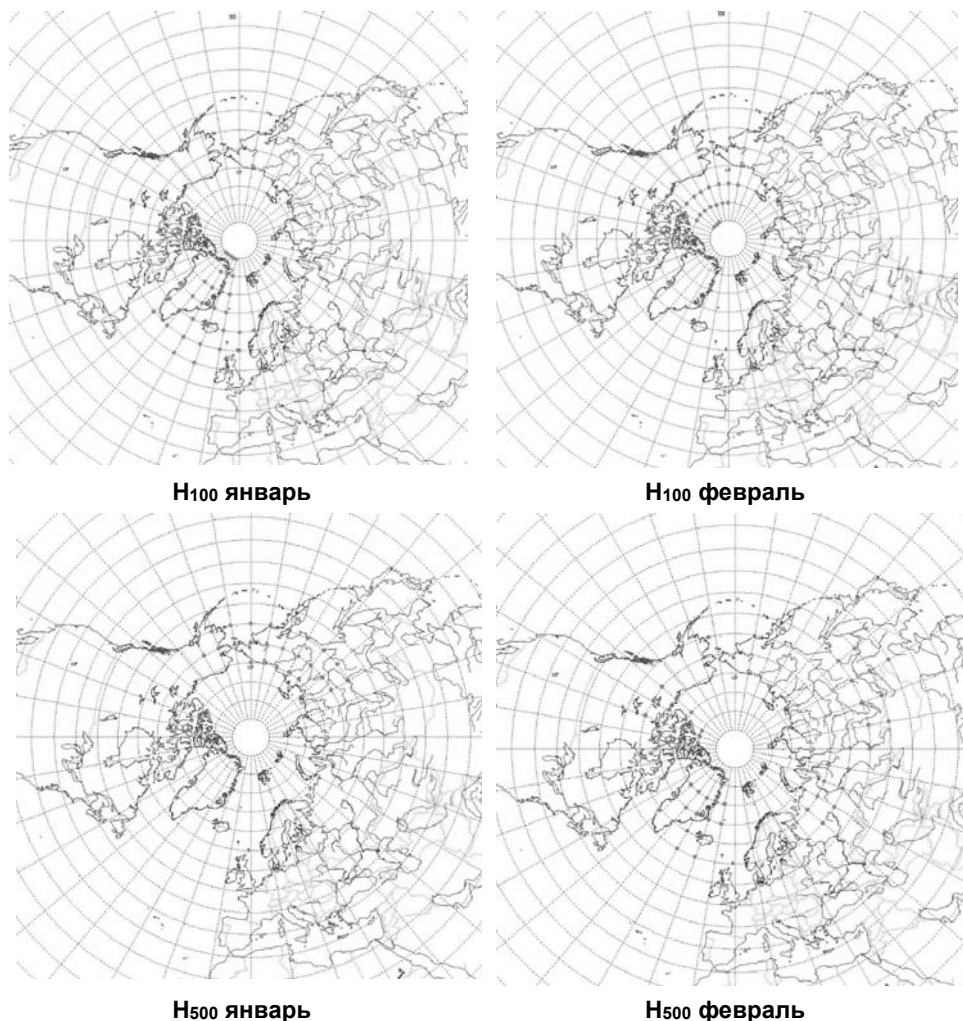
- наибольшая доля предикторов (35 % из общего числа) относятся к полям геопотенциала, расположенным в зоне Исландского центра действия атмосферы;

- 25 % полей информативных предикторов находятся в зонах Алеутского минимума и крайнего севера Сибири;

- по 20 % полей информативных предикторов находятся на территориях Северного Казахстана и севера Канады, значимость последней была отмечена рядом авторов [2, 3], которые полагали, что потоки холодного воздуха с континента Северной Америки уменьшают в холодную часть года влияние Северной Атлантики (рис. 3).

Приступая к разработке методики прогноза необходимо было выполнить преобразование информации с целью ее сжатия, выделения наиболее информативной ее части и отсеивания случайных возмущений и шумов. В Гидрометцентре России имеется значительный положительный опыт по использованию для этих задач компонентного анализа или разложения полей по е.о.ф. Использование этого метода для гидрометеорологических задач было впервые предложено Н.А. Багровым [1]. Исследования, выполненные Б.М. Гинзбургом [3], показали, что использование метода разложения полей по е.о.ф. применительно к полям сроков вскрытия

ото льда различных рек России позволяет описать эти поля сравнительно небольшим количеством членов разложения: уже первые члены разложения описывают, как правило, более 60 % информации исходного поля, а первые пять – более 90 %. В связи с этим при построении прогностических уравнений вполне достаточно использовать только первые пять членов разложения для восстановления всего поля сроков вскрытия рек ото льда.



**Рис. 3.** Схемы расположения значимых районов, в которых произведено разложение метеорологических полей по естественным составляющим.  
**Fig. 3.** Diagrams of the location of significant areas in which the decomposition of meteorological fields according to natural components has been carried out.





полученные в ходе регрессионного анализа и вошедшие в прогностические уравнения. Как было предложено в [3], для удобства были введены условные обозначения  $TB^{I-III}_{1-10}$  и  $AB^{I-III}_{1-10}$  – коэффициенты разложения среднемесячных значений температуры поверхности Тихого (ТВ) или Атлантического (АВ) океанов, где 1–10 – номер коэффициента разложения; III – номер месяца.  $H^{I-III}_{100\ 1-10}$ ,  $H^{I-III}_{500\ 1-10}$  – коэффициенты разложения полей  $H_{100}$  и  $H_{500}$ , 1–10 – номер коэффициента, I–III – номер месяца.

**Таблица 1.** Коэффициенты разложения полей аномалий ТПО по е.о.ф. и полей геопотенциалов, учитываемые в качестве предикторов сроков вскрытия ото льда на реках

**Table 1.** Coefficients of decomposition of SST anomaly fields according to natural orthogonal functions and geopotential fields, taken into account as predictors of the timing of opening from ice on rivers

Пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Зависимый ряд	Предикторы, вошедшие в уравнение
Аркуль	96900	1984–2014	$H^I_{100\ 1}$ , $H^I_{500\ 1}$ , $H^{II}_{500\ 4}$ , $AB^I_7$ , $AB^{II}_4$ , $AB^{II}_6$
Котельнич	72000	1980–2009	$H^I_{500\ 1}$ , $H^{II}_{500\ 1}$ , $H^{II}_{500\ 3}$ , $AB^I_1$
Вятские Поляны	124000	1987–2010	$H^I_{100\ 1}$ , $H^I_{100\ 2}$ , $H^{II}_{100\ 1}$ , $H^{II}_{500\ 4}$ , $AB^{II}_4$ , $AB^{II}_5$
Киров	48300	1987–2010	$H^I_{100\ 1}$ , $H^{II}_{500\ 1}$ , $AB^I_7$ , $AB^{II}_6$
Кирс	4040	1984–2014	$H^I_{100\ 1}$ , $H^I_{500\ 1}$ , $H^{II}_{500\ 2}$
Великорецкое	3410	1980–2009	$H^I_{100\ 1}$ , $H^{II}_{100\ 1}$ , $H^{II}_{100\ 3}$ , $AB^I_2$ , $AB^{II}_9$
Нагорск	16500	1983–2013	$H^I_{100\ 1}$ , $H^I_{500\ 1}$ , $TB^{II}_5$ , $TB^{II}_6$
Троица	1480	1980–2019	$H^{II}_{100\ 1}$ , $H^I_{500\ 1}$ , $AB^I_3$
Пермятский	6070	1980–2009	$H^I_{500\ 1}$ , $H^I_{500\ 2}$ , $AB^I_2$ , $TB^{II}_5$ , $TB^{II}_7$
Синегорье	45010	1980–2009	$H^I_{100\ 2}$ , $H^I_{500\ 1}$ , $H^I_{500\ 3}$ , $AB^I_3$ , $TB^{II}_9$ , $TB^{II}_{10}$
Целоусы	18900	1984–2010	$H^I_{100\ 3}$ , $H^{II}_{100\ 1}$ , $H^{II}_{500\ 1}$ , $TB^I_6$ , $AB^I_8$

Конечным результатом всего пошагового регрессионного анализа явились комплексные прогностические регрессионные уравнения для каждого гидрологического пункта Вятского бассейна, допустимая ошибка определялась как  $\delta = 0,673\sigma$ .

Каждое полученное уравнение содержит предикторы, которые характеризуют распределение аномалий температуры океанов и состояние атмосферных процессов в предшествующий период. В каждое комплексное уравнение вошло от 3 до 6 предикторов, которые были проверены на материалах независимого ряда (табл. 2).

**Таблица 2.** Комплексные прогностические уравнения для составления прогнозов сроков вскрытия рек бассейна Вятки

**Table 2.** Complex prognostic equations for forecasting the timing of the opening of the rivers of the Vyatka basin

Река	Пункт (площадь водосбора, км <sup>2</sup> )	Прогностическое уравнение	s/σ	Дата выпуска прогноза	Забла- говремен- ность, дни	
					Min	Max
Вятка	Аркуль (96900)	$16,61 - 0,03 H_{500\ 1}^I + 0,93 AB_{4-}^{II} -$ $- 0,49 H_{500\ 4}^{II} - 3,43 AB_{6-}^{II} +$ $+ 3,22 AB_{7-}^{II} - 0,4 H_{100\ 1}^I$	0,73	28.02	35	64
	Котельнич (72000)	$18,08 - 0,1 H_{500\ 1}^I + 0,32 H_{500\ 3-}^{II}$ $- 0,13 H_{500\ 1}^{II} + AB_{1-}^I$	0,68	28.02	35	67
	Вятские Поляны (124000)	$14,11 + 2,63 H_{100\ 1}^I + 2,3 AB_{4-}^{II} +$ $+ 1,24 H_{100\ 1}^{II} + 0,12 H_{500\ 4-}^{II} +$ $+ 2,75 H_{100\ 2}^I + 2,23 AB_{5-}^{II}$	0,54	28.02	34	60
	Киров (48300)	$15,27 - 0,57 H_{100\ 1}^I + 0,11 H_{500\ 1}^{II}$ $+ 3,89 AB_{7-}^{II} - 3,89 AB_{6-}^{II}$	0,57	28.02	34	63
	Кирс (4040)	$21,45 - 0,28 H_{100\ 1}^I - 0,17 H_{500\ 2}^{II}$ $- 0,06 H_{500\ 1}^{II}$	0,71	28.02	35	67
	Нагорск (16500)	$21,92 - 5,34 TB_{6-}^{II} - 0,22 H_{100\ 1}^I -$ $- 0,09 H_{500\ 1}^I - 3,28 TB_{5-}^{II}$	0,58	28.02	36	67
Великая	Великорецкое (3410)	$20,76 + 1,79 H_{100\ 1}^I - 1,71 H_{100\ 1}^{II}$ $+ 5,03 AB_{9-}^{II} - 2,21 H_{100\ 3-}^{II} +$ $+ 0,93 AB_{2-}^{II}$	0,57	28.02	32	63
Черная Холуница	Троица (1480)	$22,57 - 0,08 H_{500\ 1}^I - 2,45 AB_{3-}^{II}$ $- 0,3 H_{100\ 1}^{II}$	0,71	28.02	36	67
Молома	Пермятский (6070)	$25,65 + 2,75 AB_{2-}^{II} - 8,02 TB_{5-}^{II}$ $- 0,08 H_{500\ 1}^I + 3,94 TB_{7-}^{II} +$ $+ 0,14 H_{500\ 2}^I$	0,49	28.02	35	66
Кобра	Синегорье (45010)	$26,19 - 0,15 H_{500\ 1}^I - 1,72 AB_{3-}^{II}$ $- 6,05 TB_{9-}^{II} - 0,40 H_{500\ 3-}^{II} +$ $+ 4,27 TB_{10-}^{II} + 0,76 H_{100\ 2}^I$	0,53	28.02	37	68
Чепца	Целоусы (18900)	$18,40 - 0,12 H_{500\ 1}^I -$ $- 4,13 H_{100\ 3-}^{II} + 0,12 H_{500\ 1-}^{II}$ $- 0,28 H_{100\ 1}^{II} - 2,91 AB_{8-}^{II} +$ $+ 2,57 TB_{6-}^{II}$	0,45	28.02	37	66

Рассматривая полученные уравнения, можно сказать, что предикторы ТПО составляют 43 %, а предикторы геопотенциалов – 57 %, т. е. представлены практически поровну. Также следует отметить, что из числа предикторов, которые отражают атмосферные процессы в предшествующий период, геопотенциал  $H_{100}^{II}$  в прогностических зависимостях участвует в 35 %,  $H_{500}^{II}$  – в 65 %, причем предикторов за январь наблюдается несколько больше.

Средняя оправдываемость по проверочным прогнозам составила 73 %, однако, как отмечает ряд авторов, около 25 % долгосрочных

прогнозов оказываются неудовлетворительными, поэтому рекомендуется разработка среднесрочных и краткосрочных прогнозов с использованием декадной температуры воздуха для уточнения прогноза и возможности избежать ущерба от его ошибки.

### Заключение

В данной работе была проведена попытка составления долгосрочного прогноза сроков наступления весенних ледовых явлений на реках бассейна реки Вятки. В результате проведенных исследований был создан архив данных геопотенциалов  $H_{100}$  и  $H_{500}$  с 1952 по 2018 год по всем месяцам области Северного полушария от  $40^\circ$  до  $85^\circ$  в виде электронных таблиц из данных реанализа ERA 40 и ERA Interim модели Integrated Forecast Model Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП). Кроме того, создан архив аномалий температуры поверхности Северной Атлантики и северо-запада Тихого океана и сформированы электронные архивы данных по срокам наступления исследуемых характеристик гидрологического режима рек, выполнен анализ однородности полученных рядов.

Сравнение прогноза с фактическими данными шло на зависимом ряду и проверено на независимом. Результаты прогнозов, как видно из табл. 2, показали на момент разработки методики хорошее качество прогностических уравнений ( $S/\sigma = 0,45-0,73$ ) при условии  $S/\sigma \leq 0,75$ , которое было признано удовлетворительным. При выпуске прогноза с 28 февраля по 3 марта средняя заблаговременность составляет от 35 до 65 суток, а максимальная – от 37 до 68 суток. Оправдываемость долгосрочных прогнозов достаточно высокая при заблаговременности от 1 до 2 месяцев, следовательно, все разработанные прогностические уравнения по показателям качества получились удовлетворительными и соответствуют требованиям Наставления по службе прогнозов. Это позволяет использовать разработанное прогностическое уравнение в оперативной практике.

Таким образом, можно утверждать наличие существенного влияния пространственного распределения температуры поверхности воды Северной Атлантики, северо-запада Тихого океана и полей геопотенциала на уровнях  $H_{100}$  и  $H_{500}$  в январе и феврале на весь процесс вскрытия рек Вятского бассейна.

В данном прогнозе есть возможность уточнения с достаточной заблаговременностью путем добавления в прогностические модели данных по температуре воздуха, толщине льда и других косвенных характеристик за первую декаду марта, которые потенциально могут влиять на наступление весенних ледовых явлений.

Наметившиеся в ходе работы новые возможности заслуживают дальнейшего изучения. Поэтому необходимо произвести увеличение зависимых рядов и включение в предикторы различных косвенных характеристик, например температуры воздуха за третью декаду февраля и максимальной толщины льда за зимний период для повышения точности прогноза и гибкости прогностической модели.

### Список литературы

1. Багров Н.А. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих // Труды ЦИП. 1959. Вып. 74. С. 3-18.
2. Борщ С.В., Гинзбург Б.М., Ефремова Н.Д. Долгосрочный фоновый прогноз сроков вскрытия рек европейской территории СНГ // Метеорология и гидрология. 2001. № 7. С. 101-110.
3. Гинзбург Б.М. Влияние температуры поверхности океанов на сроки замерзания и вскрытия рек. Методы его учета в прогнозах. СПб.: Гидрометеоздат, 2005. 99 с.
4. Гинзбург Б.М., Сильницкая М.И. Влияние пространственного распределения температуры поверхности океанов на сроки замерзания и вскрытия рек азиатской территории России // Метеорология и гидрология. 2004. № 1. С. 89-95.
5. Калинин В.Г. Ледовый режим рек и водохранилищ бассейна Верхней и Средней Камы. Пермь: Перм. гос. ун-т, 2008. 252 с.
6. Лаппо С.С., Гулев С.К., Рождественский А.Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан-атмосфера и энергоактивные области мирового океана. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 336 с.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11. Средний Урал и Приуралье. Л.: Гидрометеоздат, 1973. 848 с.

### References

1. Bagrov N.A. Analiticheskoe predstavlenie posledovatel'nosti meteorologicheskikh poley posredstvom estestvennykh ortogonal'nykh sostavlyayushchih. *Trudy TSIP*, 1959, vol. 74, pp. 3-18 [in Russ.].
2. Borshch S.V., Ginzburg B.M., Efremova N.D. Long-Term Background Forecast of Ice Breakup Dates in European CIS Territory. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. Meteorol. Hydrol.], 2001, no. 7, pp. 101-110 [in Russ.].
3. Ginzburg B.M. Vliyanie temperatury poverhnosti okeanov na sroki zamerzaniya i vskrytiya rek. Metody ego ucheta v prognozah. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 2005, 99 p. [in Russ.].
4. Ginzburg B.M., Silnitskaya M.I. Effect of the Sea Surface Temperature Distribution on Freeze-up and Breakup Dates on Rivers on the Asian Territory of Russia. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. Meteorol. Hydrol.], 2004, no. 1, pp. 89-95 [in Russ.].
5. Kalinin V.G. Ledovyy rezhim rek i vodohranilishch basseyna Verhney i Sredney Kamy. Perm: Perm. gos. un-t Publ., 2008, 252 p. [in Russ.].
6. Lappo S.S., Gulev S.K., Rozhdestvenskiy A.E. Krupnomasshtabnoe teplovoe vzaimodeystvie v sisteme okean-atmosfera i energoaktivnye oblasti mirovogo okeana. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1990, 336 p. [in Russ.].
7. Resursy poverhnostnykh vod SSSR. Tom 11 Sredniy Ural i Priural'e. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1973, 848 p. [in Russ.].

*Поступила 14.10.2021; одобрена после рецензирования 30.11.2021;  
принята в печать 13.12.2021.*

*Submitted 14.10.2021; approved after reviewing 30.11.2021;  
accepted for publication 13.12.2021.*