

**Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**  
**“ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР**  
**РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ”**

## **ИНФОРМАЦИОННЫЙ СБОРНИК**

**№ 46**

**Результаты испытания новых и усовершенствованных**  
**технологий, моделей и методов**  
**гидрометеорологических прогнозов**

Под редакцией  
канд. геогр. наук А.А. Алексеевой

**2019**

Информационный сборник № 46. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов / под редакцией канд. геогр. наук А.А. Алексеевой. – М., 2019. – 119 с.

Рассмотрены результаты испытаний краткосрочного прогноза максимальной скорости ветра по данным COSMO-Ru14 и метода прогноза аномально холодной погоды на основе прогноза РЭП и карт аномалий среднесуточной температуры воздуха с заблаговременностью 48–144 ч для отдельных прогностических подразделений ФГБУ «Уральское УГМС», автоматизированной технологии прогноза температуры воздуха на базе комплексирования выходной продукции четырех моделей: COSMO-Sib13, SLAV, UKMO, GFS в холодный период года в прогностических подразделениях ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС».

Представлено описание и выявлены возможности web-технологии осуществлять выбор ранжированных рядов экстремально теплых (холодных) и влажных (сухих) лет по станциям ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС».

Приведены результаты испытания методов прогноза урожайности картофеля, многолетних и однолетних трав в ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС».

Обсуждаются результаты прогноза трех гидрологических методов прогноза: прогноза годового притока в водохранилища Мурманской области, краткосрочного прогноза уровней воды на Средней Оби и Нижнем Иртыше, а также долгосрочного прогноза максимальных уровней на реке Иртыш.

Рассмотрены результаты испытаний двух методов прогноза морской тематики: макроциркулярного метода прогноза в Карском море и распределения молодых и однолетних льдов в осенне-зимний период в юго-восточной части Баренцева моря.

Все методы, технологии и методики, результаты которых представлены и проанализированы в сборнике, решениями ЦМКП Росгидромета рекомендованы к внедрению в оперативную практику.

Для научных работников в области синоптической метеорологии, гидродинамических, агрометеорологических, гидрологических и морских гидрологических прогнозов, специалистов службы прогноза погоды, аспирантов и студентов.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ПРОГНОЗА МАКСИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА НА 24–36 Ч ПО Г. КУРГАНУ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИ COSMO-RU14**

<sup>1</sup> *Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Новосибирск;*

<sup>2</sup> *Курганское ЦГМС – филиал ФГБУ «Уральское УГМС», г. Курган*

В соответствии с Планом испытания и внедрения новых и усовершенствованных технологий (методов) гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов Росгидромета на 2016–2018 гг. в Курганском ЦГМС – филиале ФГБУ «Уральское УГМС» были проведены испытания прогноза максимальной скорости ветра на 24–36 ч по г. Кургану по данным модели COSMO-Ru14 (метеограммы на сайте СибНИГМИ [1]).

3

Цель проведения испытания метода – выработка практических рекомендаций для дальнейшего его использования в прогностической деятельности.

При выполнении испытаний производился автоматический расчет показателей успешности прогнозов. Срок проведения испытания: январь 2016 г. – декабрь 2018 г. За весь период испытаний было получено и оценено 2182 прогнозов (722 – в 2016 г., 730 – в 2017 г., 730 – в 2018 г.), рассчитанных по исходному сроку 00 ч ВСВ. Синоптических прогнозов было 2192. Дежурному синоптику данные прогноза максимальной скорости ветра на 24–36 ч по г. Кургану по данным модели COSMO-Ru14 поступали после 10 ч местного времени.

Ежесуточно, а затем ежемесячно оценивались прогнозы [2] скорости ветра по данным модели COSMO-Ru14 и по синоптическому методу в соответствии с положениями и градациями Наставления [3]. При этом прогностическое значение скорости ветра принималось за середину интервала и сравнивалось с фактическим значением с допуском  $\pm 5$  м/с. Для оценки прогнозов использовались данные о максимальной скорости ветра ночью и днем, зафиксированной метеостанцией Курган.

Результаты испытаний представлены в табл. 1–3.

## Оправдываемость (%) прогнозов скорости ветра по г. Кургану

Месяцы	COSMO-Ru14		Синоптический метод	
	Ночь	День	Ночь	День
<b>2016 год</b>				
Январь	100	100	97	100
Февраль	100	97	93	93
Март	97	100	100	90
Апрель	97	97	100	97
Май	71	94	87	90
Июнь	83	83	93	87
Июль	79	93	100	94
Август	75	86	97	97
Сентябрь	90	97	93	97
Октябрь	94	100	97	100
Ноябрь	100	93	97	83
Декабрь	100	97	94	90
<b>Средняя за год</b>	<b>91</b>	<b>95</b>	<b>97</b>	<b>93</b>
<b>2017 год</b>				
Январь	100	100	100	97
Февраль	96	93	96	89
Март	97	100	100	100
Апрель	97	97	87	93
Май	90	90	87	97
Июнь	93	100	97	83
Июль	84	94	100	87
Август	100	94	100	97
Сентябрь	87	100	100	100
Октябрь	97	100	97	90
Ноябрь	100	100	100	100
Декабрь	100	97	100	94
<b>Средняя за год</b>	<b>95</b>	<b>97</b>	<b>97</b>	<b>94</b>
<b>2018 год</b>				
Январь	100	97	100	100
Февраль	100	100	93	93
Март	97	100	83	90
Апрель	63	100	90	100
Май	63	100	90	87
Июнь	63	93	87	77
Июль	71	94	84	94
Август	90	94	97	94
Сентябрь	87	100	97	97
Октябрь	90	100	94	94
Ноябрь	97	100	97	100
Декабрь	100	100	97	100
<b>Средняя за год</b>	<b>85</b>	<b>98</b>	<b>92</b>	<b>94</b>

## Абсолютные ошибки (м/с) прогнозов скорости ветра по г. Кургану

Месяцы	COSMO-Ru14		Синоптический метод	
	Ночь	День	Ночь	День
<b>2016 год</b>				
Январь	2,0	2,0	2,5	2,4
Февраль	1,8	2,0	1,4	2,1
Март	2,0	1,6	2,5	2,2
Апрель	2,5	1,9	1,4	2,1
Май	3,9	1,9	2,4	1,8
Июнь	3,4	2,5	1,8	2,5
Июль	3,4	2,2	1,8	1,9
Август	3,5	2,3	1,6	2,3
Сентябрь	2,7	2,1	2,4	1,6
Октябрь	2,5	1,0	2,0	1,0
Ноябрь	1,8	2,0	1,8	2,3
Декабрь	1,9	2,2	2,1	2,5
<b>Средняя за год</b>	<b>2,6</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,1</b>
<b>2017 год</b>				
Январь	2,1	1,6	1,7	1,5
Февраль	2,3	2,0	2,4	2,4
Март	1,8	1,6	1,9	1,5
Апрель	2,1	1,7	2,3	2,3
Май	3,5	2,4	2,5	2,0
Июнь	3,0	1,7	2,3	3,4
Июль	2,9	2,1	2,1	2,8
Август	2,4	1,8	1,8	1,6
Сентябрь	2,9	1,5	1,6	1,6
Октябрь	2,2	1,4	2,4	1,8
Ноябрь	1,3	1,2	1,3	1,5
Декабрь	1,1	1,3	1,8	2,1
<b>Средняя за год</b>	<b>2,3</b>	<b>1,7</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>
<b>2018 год</b>				
Январь	1,5	1,4	2,0	1,9
Февраль	1,6	1,4	2,1	2,2
Март	2,0	1,4	3,2	2,4
Апрель	3,1	1,5	2,7	2,1
Май	4,0	1,8	3,1	3,1
Июнь	4,9	2,5	2,5	3,1
Июль	4,2	2,3	3,1	2,4
Август	3,0	2,4	2,5	2,6
Сентябрь	3,5	1,8	1,9	2,0
Октябрь	2,8	1,6	2,5	2,4
Ноябрь	2,0	1,5	1,8	1,9
Декабрь	1,5	1,3	1,9	1,7
<b>Средняя за год</b>	<b>2,8</b>	<b>1,7</b>	<b>2,4</b>	<b>2,3</b>

## Систематические ошибки (м/с) прогнозов скорости ветра по г. Кургану

Месяцы	COSMO-Ru14		Синоптический метод	
	Ночь	День	Ночь	День
<b>2016 год</b>				
Январь	1,6	1,5	2,2	1,7
Февраль	0,9	1,0	0,1	0,3
Март	1,3	-0,1	0,3	-0,5
Апрель	2,3	-0,4	0,8	-1,1
Май	3,4	0,7	1,0	0,2
Июнь	3,1	1,0	0,8	0,6
Июль	3,2	0,2	1,3	-0,3
Август	2,5	0,5	1,1	1,4
Сентябрь	2,5	1,5	1,4	0,9
Октябрь	1,8	0,2	1,7	0,1
Ноябрь	1,4	1,4	1,1	1,4
Декабрь	1,3	0,8	1,6	2,1
<b>Средняя за год</b>	<b>2,1</b>	<b>0,7</b>	<b>1,1</b>	<b>0,5</b>
<b>2017 год</b>				
Январь	0,8	0,4	0,4	1,0
Февраль	0,9	0,8	-0,1	0,1
Март	0,7	-0,5	0,2	-0,4
Апрель	1,5	0,0	0,7	-0,3
Май	3,1	2,3	1,5	0,9
Июнь	2,7	1,2	1,4	2,6
Июль	2,6	0,9	1,0	1,6
Август	2,0	-0,1	1,1	0,6
Сентябрь	2,9	0,9	0,9	1,0
Октябрь	1,7	0,9	0,9	1,2
Ноябрь	0,3	-0,1	0,3	0,3
Декабрь	0,4	0,6	0,9	1,6
<b>Средняя за год</b>	<b>1,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>
<b>2018 год</b>				
Январь	1,0	1,0	0,7	1,0
Февраль	0,6	0,2	1,4	1,4
Март	1,1	0,0	1,2	0,4
Апрель	2,5	0,0	1,6	-0,2
Май	3,6	0,2	1,4	-0,1
Июнь	4,8	1,0	1,7	1,4
Июль	4,2	1,5	2,4	1,6
Август	2,4	0,9	0,8	1,2
Сентябрь	3,1	0,7	1,1	0,6
Октябрь	2,1	0,8	0,9	1,0
Ноябрь	1,4	1,1	0,7	1,4
Декабрь	0,5	0,2	0,5	1,0
<b>Средняя за год</b>	<b>2,3</b>	<b>0,6</b>	<b>1,2</b>	<b>0,9</b>

Из табл. 1 видим, что оправдываемость прогнозов скорости ветра по данным модели COSMO-Ru14 наибольшая в зимний период (октябрь – март), наименьшая – в период май – июль, к тому же в 2016 г. еще и в августе; в 2018 г. – в сентябре и апреле.

В период испытания оценка прогноза максимальной скорости ветра производилась по каждому месяцу и для каждой заблаговременности. Результаты сравнительной оценки оправдываемости скорости ветра по каждому методу прогноза за 2016–2018 гг. представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Сравнительная оценка среднегодовой оправдываемости прогнозов скорости ветра по г. Кургану**

Метод прогноза	Заблаговременность, ч	Оправдываемость P, %, средняя за год	Обеспеченность Pt, %, при абсолютной ошибке		
			≤ 2м/с	≤ 3м/с	> 3м/с
<b>2016 год</b>					
COSMO-Ru14	24	91	59	74	26
	36	95	73	84	16
Синоптический	24	97	67	84	16
	36	93	67	82	18
<b>2017 год</b>					
COSMO-Ru14	24	95	64	79	21
	36	97	81	92	8
Синоптический	24	97	69	83	17
	36	94	70	84	16
<b>2018 год</b>					
COSMO-Ru14	24	85	52	69	31
	36	98	75	88	12
Синоптический	24	92	58	77	23
	36	94	62	80	20

Анализ результатов испытания показал, что оправдываемость прогнозов различной заблаговременности колеблется от 85 % до 98 %. По данным модели COSMO-Ru14 более высокий уровень оправдываемости при заблаговременности 36 ч в 2018 г. (98 %); наименее успешны прогнозы на 24 ч в 2018 г. (85 %) (табл. 4).

В табл. 4 приведены данные обеспеченности прогнозов при заданных градациях абсолютных ошибок. Самый высокий процент оправдавшихся прогнозов скорости ветра по данным модели COSMO-Ru14 за весь период испытания составил 81 % в 2017 г. для заблаговременности 36 ч при абсолютной ошибке ≤ 2 м/с; самый низкий процент оправдываемости при этой же ошибке составил 52 % в 2018 г. для заблаговременности 24 ч.

В табл. 5 представлены среднегодовые показатели успешности прогнозов скорости ветра. Из таблицы видим, что в среднем за весь период испытаний абсолютная ошибка прогнозов скорости ветра по данным модели COSMO-Ru14 составила для заблаговременности 24 ч 2,6 м/с, для заблаговременности 36 ч – 1,8 м/с; абсолютная ошибка прогнозов, составленных синоптическим методом – 2,1 м/с для заблаговременностей 24 ч и 36 ч.

Таблица 5

**Среднегодовые показатели успешности прогнозов скорости ветра по г. Кургану**

Метод прогноза	Количество прогнозов	Заблаговременность, ч	Абсолютная ошибка, м/с	Систематическая ошибка
<b>2016 год</b>				
COSMO-Ru14	361	24	2,6	2,1
	361	36	2,0	0,7
Синоптический	366	24	2,0	1,1
	366	36	2,1	0,5
<b>2017 год</b>				
COSMO-Ru14	365	24	2,3	1,6
	365	36	1,7	0,6
Синоптический	365	24	2,0	0,8
	365	36	2,0	0,9
<b>2018 год</b>				
COSMO-Ru14	365	24	2,8	2,3
	365	36	1,7	0,6
Синоптический	365	24	2,4	1,2
	365	36	2,3	0,9

Проанализировав оправдываемость прогнозов скорости ветра по сезонам (табл. 6) за три года испытаний по данным модели COSMO-Ru14 отмечаем, что для заблаговременности 24 ч наибольшая оправдываемость приходится на зиму – 100 %, наименьшая на лето – 82 %; для заблаговременности 36 ч наибольшая была зимой и весной – 98 %, наименьшая летом – 82 %.

Неоправдавшихся прогнозов максимальной скорости ветра по данным модели COSMO-Ru14 за 2016 год всего 51 случай (ночь – 33 случая, день – 18 случаев), лишь в 5 случаях прогнозируемая скорость ветра была ниже фактической; за 2017 год из 29 случаев (ночь – 19, день – 10) лишь в 3 случаях прогнозировался ветер слабее фактического; за 2018 год из 52 случаев (ночь – 46, день – 6) лишь в 1 случае прогнозировался ветер слабее фактического.

По синоптическому методу из неоправдавшихся за 2016 год 34 случаев (ночь – 15, день – 19 случаев) в 9 случаях прогнозируемая скорость ветра была ниже фактической;

за 2017 год из 33 случаев (ночь – 11, день – 22) в 8 случаях прогнозируемая скорость была ниже фактической; за 2018 г. из 49 случаев (ночь – 27, день – 22) в 10 случаях прогнозируемая скорость ветра была ниже фактической, т. е. чаще прогностическая скорость ветра была больше фактической.

Таблица 6

**Успешность прогнозов скорости ветра по г. Кургану по сезонам**

Метод прогноза	Заблаговременность, ч	Оправдываемость, %, средняя за сезон				Абсолютная ошибка, м/с, средняя за сезон			
		зима XII-II	весна III-V	лето VI-VIII	осень IX-XI	зима XII-II	весна III-V	лето VI-VII	осень IX-XI
<b>2016 год</b>									
COSMO-Ru14	24	100	88	79	95	1,9	2,8	3,4	2,3
	36	99	97	87	97	2,0	1,8	2,3	1,7
Синоптический	24	95	96	97	96	2,0	2,1	1,7	2,1
	36	97	92	93	93	2,3	2,0	2,2	1,6
<b>2017 год</b>									
COSMO-Ru14	24	99	95	92	99	1,8	2,5	2,8	2,1
	36	97	96	96	89	1,6	1,9	1,9	1,4
Синоптический	24	97	91	95	99	2,0	2,2	2,1	1,8
	36	92	97	100	97	2,0	1,9	2,6	1,6
<b>2018 год</b>									
COSMO-Ru14	24	100	74	75	91	1,5	3,0	4,0	2,8
	36	99	100	94	100	1,4	1,6	2,4	1,6
Синоптический	24	98	88	89	96	2,0	3,0	2,7	2,1
	36	96	92	88	97	1,9	2,5	2,7	2,0

За период с 2016 по 2018 год на метеостанции Курган ветер со скоростью 15 м/с и более наблюдался в течение 48 суток (табл. 7), с учетом деления суток на ночь и день – 53 раза (по годам – 11, 20 и 22 случая соответственно).

Анализируя случаи фактического ветра 15 м/с и более и прогноз максимальной скорости ветра по данным модели COSMO-Ru14 (табл. 8), можно сделать следующие выводы:

– из 11 случаев сильного ветра в 2016 году (скорость ветра прогнозировалась от 11 до 20 м/с) в 1 случае сильный ветер не предусмотрен (прогнозировался 9 м/с), средняя оправдываемость 91 %. Из 63 случаев прогноза ветра  $\geq 13$  м/с не оправдалось 16 случаев, оправдываемость 74 %; во всех случаях ветер давался сильнее фактического;

– из 20 случаев сильного ветра в 2017 году 19 раз ветер оправдался (1 ветер не предусмотрен, ожидался умеренный); прогнозировался ветер от 10 до 21 м/с, средняя

оправдываемость 95 %. Из 89 случаев прогноза ветра  $\geq 13$  м/с не оправдалось 15 случаев, оправдываемость 83 %; во всех случаях прогнозировался ветер сильнее фактического;

– в 2018 году из 22 случаев сильного ветра оправдался 21 случай (оправдываемость 95 %). 1 случай не предусмотрен – скорость прогнозировалась 9 м/с, была 15 м/с. В остальных случаях прогнозировался ветер от 11 до 20 м/с, фактически был 15–21 м/с. Средняя оправдываемость 95 %. Из 122 случаев прогноза ветра  $\geq 13$  м/с не оправдался 31 случай, оправдываемость 75 %. В большинстве случаев прогнозируемый ветер был сильнее фактического.

Таблица 7

**Анализ средней и максимальной скорости ветра (м/с) МС Курган**

Месяц	2016		2017		2018		Ср. многол 1986- 2015	2016		2017		2018		Ср. многол 1981- 2017	N*
	факт	откл	факт	откл	факт	откл		факт	откл	факт	откл	факт	откл		
Январь	1,9	-2,0	2,0	-1,9	1,8	-2,1	3,9	10	-6	12	-4	12	-4	16	2,6
Февраль	2,0	-1,9	2,7	-1,2	1,7	-2,2	3,9	13	-3	16	0	10	-6	16	2,2
Март	2,6	-1,6	2,3	-1,9	2,5	-1,7	4,2	17	0	15	-2	17	0	17	2,7
Апрель	2,1	-2,4	3,0	-1,5	2,5	-2,0	4,5	14	-5	18	-1	19	0	19	4,2
Май	1,9	-2,4	2,3	-2,0	2,8	-1,5	4,3	20	-1	19	-2	19	-2	21	5,9
Июнь	2,0	-1,6	1,7	-1,9	2,1	-1,5	3,6	16	-4	16	-4	21	1	20	3,7
Июль	1,9	-1,5	1,5	-1,9	1,7	-1,7	3,4	24	7	14	-3	15	-2	17	2,0
Август	1,4	-1,9	1,4	-1,9	2,0	-1,3	3,3	14	-3	15	-2	15	-2	17	2,3
Сентябрь	1,3	-2,4	1,8	-1,9	1,8	-1,9	3,7	13	-5	14	-4	14	-4	18	2,2
Октябрь	1,6	-2,4	2,1	-1,9	2,6	-1,4	4,0	11	-6	17	0	18	1	17	1,9
Ноябрь	2,0	-1,9	1,9	-2,0	2,3	-1,6	3,9	15	-1	14	-2	15	-1	16	2,5
Декабрь	2,0	-1,9	1,5	-2,4	1,4	-2,5	3,9	14	-3	10	-7	10	-7	17	2,8
Год	1,9	-2,0	2,0	-1,9	2,1	-1,8	3,9	15	-3	15	-3	15	-2	18	2,9

Примечание. N\* – среднее многолетнее число дней со скоростью более 15 м/с, 1966–2012 гг.

Даты с максимальной скоростью ветра 15 м/с и более (табл. 8):

2016 год – 06.03, 07.03, 20.03, 02.05, 07.05, 13.05, 28.05, 30.06, 30.07, 27.11, 29.11 (11 дней);

2017 год – 09.02, 26.02, 30.03, 05.04, 16.04, 17.04, 23.04, 30.04, 07.05, 12.05, 23.05, 03.06, 18.06, 19.06, 06.08, 20.10, 24.10, 25.10 (18 дней);

2018 год – 19.03, 29.04, 4.05, 5.05, 9.05, 14.05, 18.05, 20.05, 22.05, 24.05, 6.06, 7.06, 25.06, 23.07, 21.08, 26.08, 9.10, 18.10, 29.11 (19 дней).

**Ветер по г. Кургану фактический со скоростью  $\geq 15$  м/с и  
прогностический  $\geq 13$  м/с (COSMO-Ru14)**

Дата	Прогнозировался $\geq 13$ м/с						Наблюдался $\geq 15$ м/с					
	Ночь			День			Ночь			День		
	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.
<b>2016 год</b>												
<b>02.02</b>				13	10	100						
03				13	11	100						
<b>02.03</b>				13	12	100						
06				13	16	100				13	16	100
07	14	13	100	13	15	100				13	15	100
08	13	12	100									
19	16	13	100									
20	16	17	100				16	17	100			
<b>06.04</b>				18	14	100						
23				15	12	100						
24	14	5	0	14	14	100						
25	13	9	100									
<b>02.05</b>	13	15	100	13	10	100	13	15	100			
07				13	15	100				13	15	100
08							11	15	100			
10				17	13	100						
11	15	9	100	16	11	100						
12	13	7	0									
13				20	20	100				20	20	100
15				13	11	100						
16	13	9	100									
23				13	9	100						
27	13	3	0	13	5	0						
28				16	15	100				16	15	100
29	15	9	0									
<b>07.06</b>	13	5	100									
12	13	12	100	20	12	0						
15	14	8	0									
23	14	3	0	15	9	0						
25	14	10	100									
26	14	12	100									
29				13	10	100						
30										9	16	0
<b>02.07</b>	13	8	100									
21				15	10	100						
24	15	4	0	24	9	0						
30										н/д	24	
<b>06.08</b>				14	8	0						
11	13	3	0	14	8	0						
26				16	8	0						
29				16	14	100						
<b>02.09</b>				13	8	100						
03	13	6	0									

Дата	Прогнозировался $\geq 13$ м/с						Наблюдался $\geq 15$ м/с					
	Ночь			День			Ночь			День		
	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.
09				14	13	100						
10	13	9	100									
14				13	8	100						
15	13	11	100									
29				13	8	100						
<b>27.11</b>	16	15	100	16	12	100	16	15	100			
29				16	15	100				16	15	100
30	15	14	100									
<b>01.12</b>	13	9	100									
04	16	11	100									
11	15	11	100	15	10	100						
25	10	10	100									
<b>Всего</b>		30/9	70		33/7	79		4	100		7	86
<b>2017 год</b>												
<b>01.01</b>	14	10	100	14	9	100						
21	13	12	100	13	11	100						
22	13	9	100									
<b>09.02</b>				13	16	100				13	16	100
19				14	12	100						
21	16	9	0	17	10	0						
22	15	13	100	16	14	100						
23	14	12	100									
26	15	16	100				15	16	100			
27	13	12	100									
<b>30.03</b>							12	15	100			
31	15	15	100				15	15	100			
<b>03.04</b>	13	10	100	14	10	100						
05				19	15	100				19	15	100
06	16	7	0									
13	13	12	100									
14	13	13	100									
15	14	10	0									
16	14	12	100	16	17	100				16	17	100
17	16	13	100	18	18	100				18	18	100
21				13	10	100						
22	14	12	100									
23				16	15	100				16	15	100
30										10	16	0
<b>04.05</b>				13	10	100						
07										21	19	100
08	19	14	100									
09				14	10	100						
12	13	17	100	12	11	100	13	17	100			
13				20	11	0						
14	18	7	0									
20				19	8	0						
21				16	11	100						
22				18	12	0						

Дата	Прогнозировался $\geq 13$ м/с						Наблюдался $\geq 15$ м/с					
	Ночь			День			Ночь			День		
	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.
23	16	12	100	18	18	100				18	18	100
24	13	8	100									
29	14	11	100									
31	14	10	100									
<b>02.06</b>				13	11	100						
03				17	16	100				17	16	100
04	18	13	100	15	12	100						
05	14	11	100	14	13	100						
09				13	11	100						
10	13	8	100									
17				13	12	100						
18	13	10	100							12	15	100
19	15	10	100	16	16	100				16	16	100
21				13	12	100						
26				13	10	100						
<b>03.07</b>				14	13	100						
04	17	8	0									
06				14	11	100						
20				15	6	0						
23	14	8	0									
29	14	11	100									
<b>02.08</b>				14	7	0						
03	15	14	100	13	9	100						
06	15	15	100				15	15	100			
07	13	11	100									
28	13	8	100									
<b>04.09</b>				13	10	100						
05	15	9	0	15	11	100						
06	14	9	100									
12	15	11	100									
18				14	14	100						
19	13	5	0									
20				14	12	100						
23	13	6	0	13	9	100						
<b>04.10</b>				13	12	100						
09	14	7	0									
20				16	15	100				16	15	100
21	13	9	100									
24	14	17	100	17	16	100	14	17	100	17	16	100
25	17	15	100	14	13	100	17	15	100			
<b>17.11</b>	13	11	100									
<b>Всего</b>		46/9	80%		43/6	86%		7	100		13	92
<b>2018 год</b>												
<b>08.01</b>				13	11	100						
09	15	12	100									
<b>07.03</b>	14	14	100	15	13	100						
08	15	11	100									

Дата	Прогнозировался $\geq 13$ м/с						Наблюдался $\geq 15$ м/с					
	Ночь			День			Ночь			День		
	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.
19	16	16	100	20	17	100	16	16	100	20	17	100
20	15	9	0									
29	16	13	100									
<b>11.04</b>				15	12	100						
13				15	11	100						
15				13	12	100						
16				13	11	100						
17	13	5	0									
19				13	13	100						
20	13	9	100	13	13	100						
21	13	11	100									
24	13	10	100	14	14	100						
25	13	5	0									
27				15	12	100						
28	13	4	0									
29	13	11	100	19	19	100				19	19	100
30	20	12	0	15	13	100						
<b>01.05</b>	15	11	100									
04				19	17	100				19	17	100
05	17	15	100	15	15	100	17	15	100	15	15	100
06	13	5	0									
08	15	10	100									
09				15	15	100				15	15	100
10	16	8	0									
12				16	14	100						
13	16	12	100									
14				13	17	100				13	17	100
15	16	13	100									
16	14	12	100									
17				13	9	100						
18										12	15	100
20				15	16	100				15	16	100
22				14	19	100				14	19	100
23				13	13	100						
24				18	17	100				18	17	100
25	19	4	0									
28				14	9	100						
31	13	1	100	15	14	100						
<b>01.06</b>	16	8	0									
03				13	8	100						
04				15	9	0						
05				15	14	100						
06				16	21	100				16	21	100
07	16	7	0	14	16	100				14	16	100
08				13	9	100						
10				13	7	0						
12	13	7	0									
14	19	8	0									

Дата	Прогнозировался $\geq 13$ м/с						Наблюдался $\geq 15$ м/с					
	Ночь			День			Ночь			День		
	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.
15	13	7	0									
18				13	13	100						
21				15	11	100						
22	14	10	100									
23				14	11	100						
25	13	4	0							11	16	100
26	13	3	0	13	11	100						
28				13	8	100						
<b>09.07</b>				13	8	100						
11	13	7	0	16	5	0						
12	15	4	0	13	7	0						
13				14	11	100						
14	14	5	0	13	10	100						
20				14	10	100						
21				13	11	100						
22	13	7	0	13	12	100						
23				16	15	100				16	15	100
24	17	13	100	14	13	100						
29				13	11	100						
<b>04.08</b>	13	12	100	13	7	0						
11				13	13	100						
12	13	9	100									
16				13	10	100						
17				15	12	100						
18	13	7	0									
21				16	15	100				16	15	100
22	14	5	0									
24				13	7	0						
26	9	15	0	15	12	100	9	15	0			
31	13	10	100									
<b>13.09</b>				14	11	100						
14				15	12	100						
15	14	5	0									
19				14	14	100						
20	13	9	100									
27				13	13	100						
28				15	11	100						
29				17	14	100						
30	14	11	100									
<b>01.10</b>	16	12	100									
8	17	11	0	13	9	100						
9	14	11	100	18	16	100				18	16	100
10	16	7	0									
11				14	10	100						
12	16	8	0									
18	16	16	100	16	15	100	16	16	100	16	15	100
<b>02.11</b>	13	8	100									
4				13	13	100						

Дата	Прогнозировался $\geq 13$ м/с						Наблюдался $\geq 15$ м/с					
	Ночь			День			Ночь			День		
	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.	прогноз	факт	опр.
9	13	13	100									
29				15	15	100				15	15	100
30	14	10	100									
Декабрь	—	—	—	—	—	—						
<b>Всего</b>	<b>55/25</b>		<b>53</b>	<b>67/6</b>		<b>91</b>		<b>4</b>	<b>75</b>		<b>18</b>	<b>100</b>

Рис. 1–3 дают наглядную картину вышесказанного: прогнозируемая скорость ветра в большинстве случаев больше фактической скорости. Прогностическая скорость оказалась меньше фактической лишь в 2016 г. в январе (прогноз на 24 ч); в 2017 г. (на 36 ч) в январе и марте (на 24 ч); в 2018 году в январе (на 36 ч), причем разность между прогностической и фактической скоростями на 24 ч больше, чем на 36 ч. Наибольшее отклонение (около 2 м/с) прогностической скорости от фактической наблюдалось в 2016 г. в июле, в 2017 г. – в июне-июле, в 2018 г. – в мае-июне.

Достоинство прогноза максимальной скорости ветра на 24–36 ч по г. Кургану по данным модели COSMO-Ru14 (метеограммы на сайте СибНИГМИ) заключается в хорошей наглядности представленных прогнозов. Немаловажный факт при составлении прогноза – это удобный 6-часовой интервал времени и заблаговременность прогнозов от 12 до 120 часов.

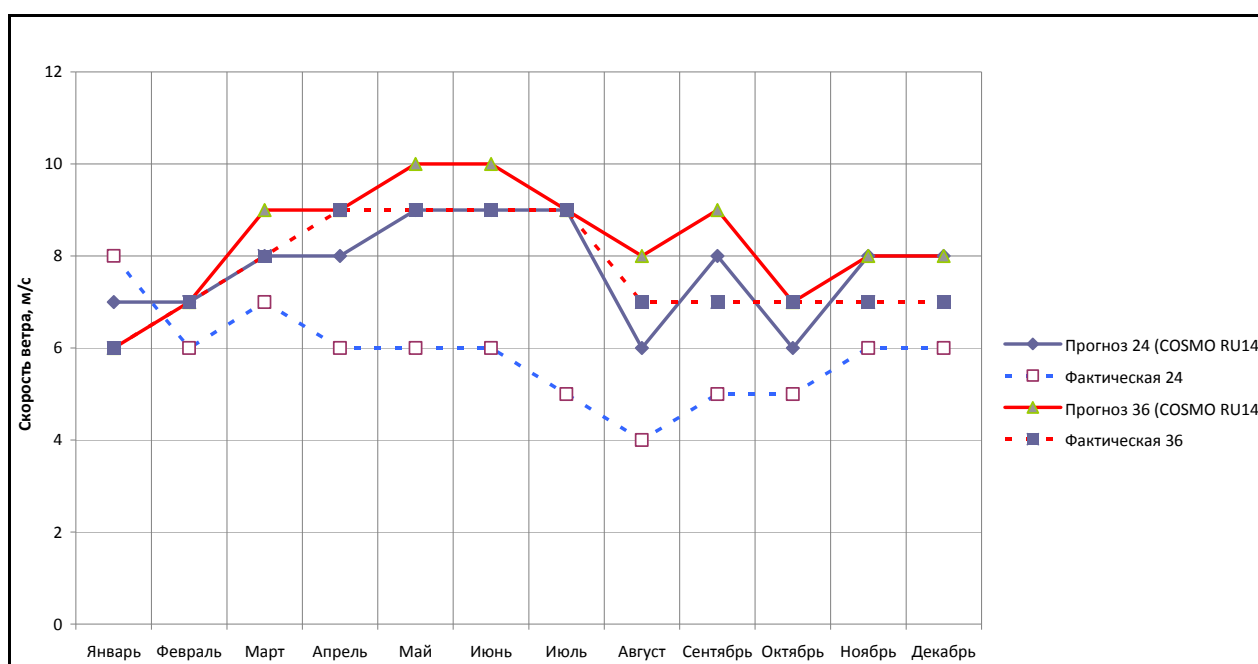


Рис. 1. Изменение скорости ветра по г. Кургану в 2016 г.

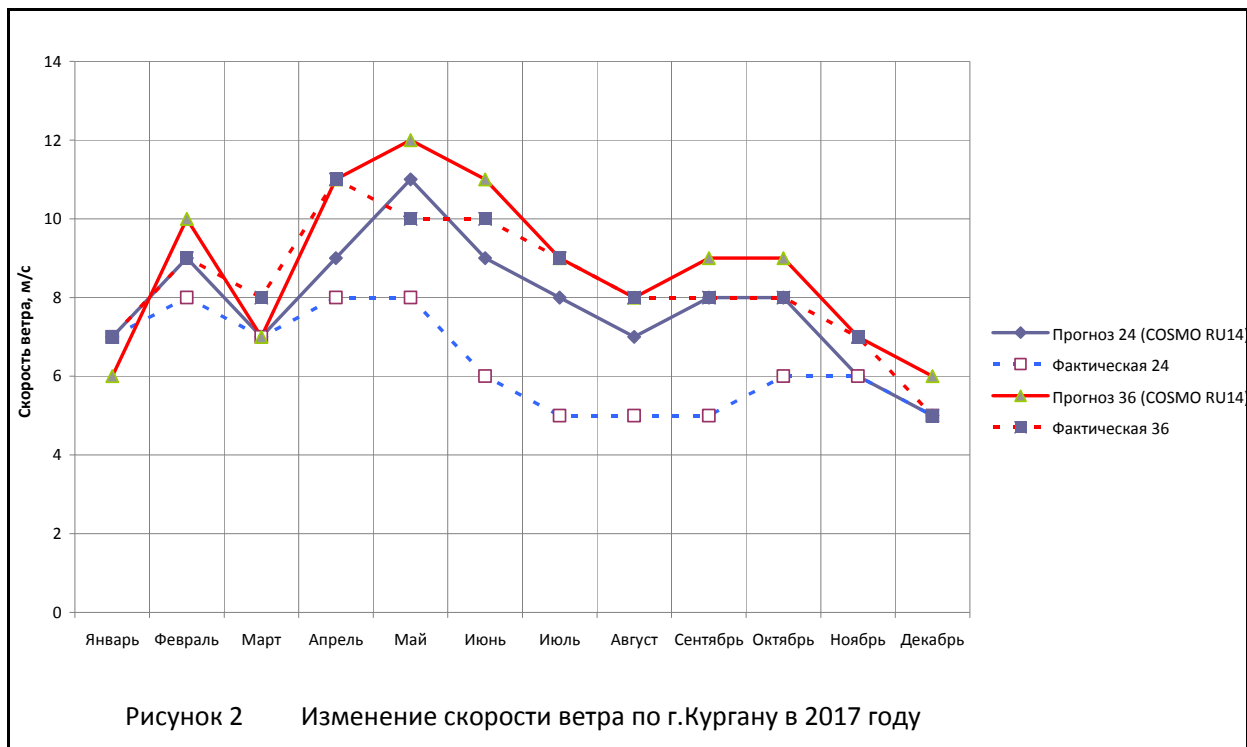


Рис. 2. Изменение скорости ветра по г. Кургану в 2017 г.

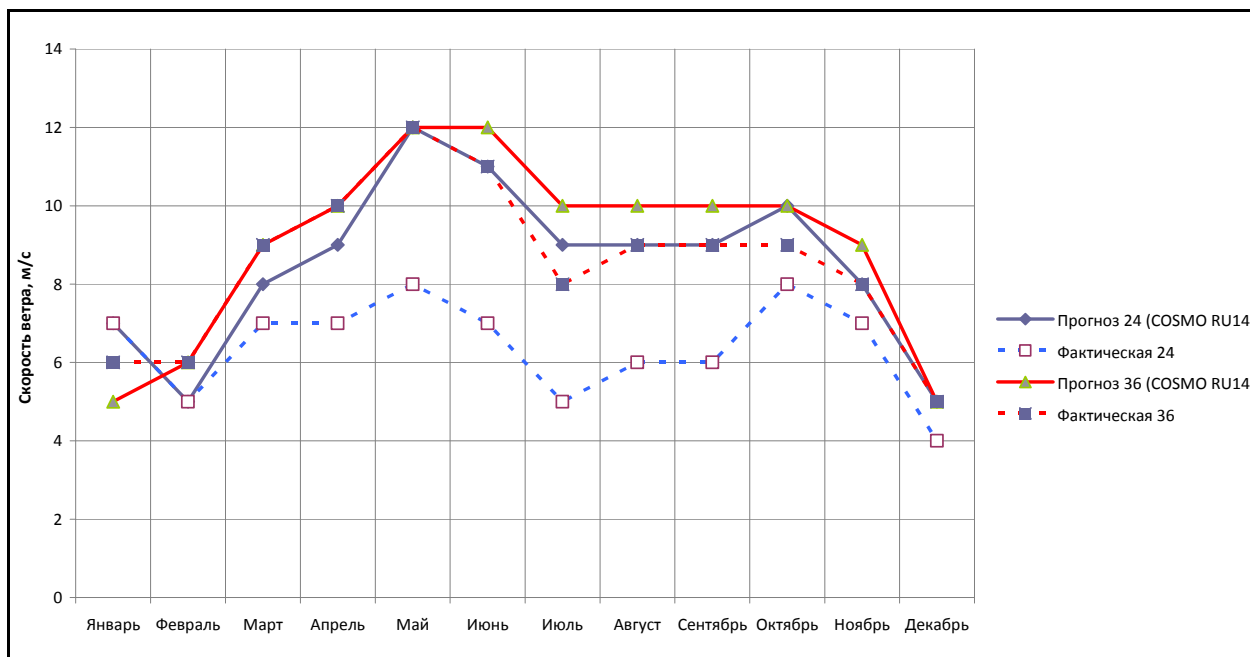


Рис. 3. Изменение скорости ветра по г. Кургану в 2018 г.

Учитывая вышеизложенные результаты проведенного испытания на протяжении 2016–2018 гг., группа метеопрогнозов Курганского ЦГМС – филиала ФГБУ «Уральское УГМС» приняла решение внедрить прогноз максимальной скорости ветра на 24–36 ч по г. Кургану по данным модели COSMO-Ru14 в оперативную практику в качестве **основного** прогностического метода при составлении краткосрочного прогноза погоды по г. Кургану.

## Список литературы

1. Метеограммы прогнозов максимальной скорости ветра на 24–36 ч по г. Кургану по данным модели COSMO-Ru14 (<http://sibnigmi.ru/cgi-bin/1746/mgrammR.-cgi?&55.284&65.234&%%CA%F3%F0%E3%E0%ED,%C2%EE%F0%EE%ED%EE%E2%EA%E0>) (дата обращения – 21.02.2019 г.).
2. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов.
3. РД 52.27.724-2009. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения.

*С.С. Баранова<sup>1</sup>, Г.А. Шепоренко<sup>1</sup>, Д.И. Абзалилова<sup>2</sup>,  
Л.В. Веприкова<sup>2</sup>, И.А. Козлова<sup>3</sup>, Н.В. Ячменева<sup>3</sup>*

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗА  
АНОМАЛЬНО ХОЛОДНОЙ ПОГОДЫ НА 48–144 ЧАСА  
ДЛЯ ТЕРРИТОРИЙ СВЕРДЛОВСКОЙ, ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ  
И ПЕРМСКОГО КРАЯ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗА РЭП  
И КАРТ АНОМАЛИИ СРЕДНЕСУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА  
НА 1–5 СУТОК В СРАВНЕНИИ С СИНОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

*<sup>1</sup> Уральское управление по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды, г. Екатеринбург;*

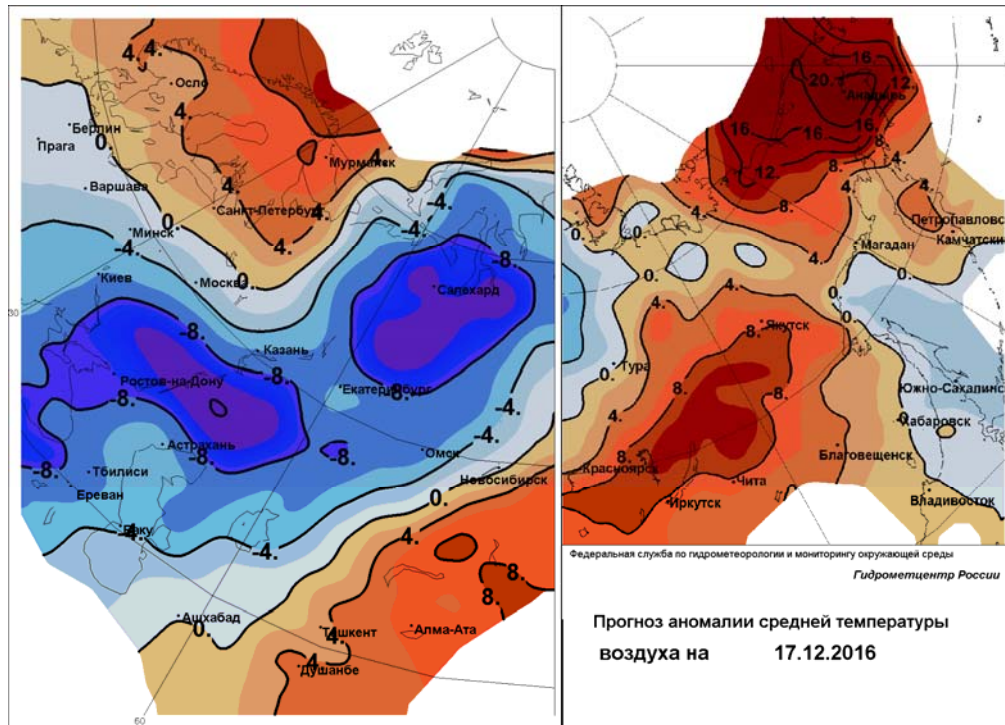
*<sup>2</sup> Пермский ЦГМС – филиал ФГБУ «Уральское УГМС», г. Пермь;*

*<sup>3</sup> Челябинский ЦГМС – филиал ФГБУ «Уральское УГМС», г. Челябинск*

19

Согласно Плану испытания новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических прогнозов Росгидромета, в течение двух холодных периодов 2017–2018 гг. в ФГБУ «Уральское УГМС» и двух его филиалах – Пермском ЦГМС и Челябинском ЦГМС проходил испытание метод прогноза аномально холодной погоды на 48–144 ч, разработанный в ФГБУ «Гидрометцентр России» на основе прогноза РЭП и карт аномалии среднесуточной температуры воздуха на 1–5 суток (сайт ФГБУ «Гидрометцентр России», <https://meteoinfo.ru/>). Исходная прогностическая информация представлена на рис. 1, 2.

Согласно Положению [4], под аномально-холодной погодой (АХП) понимается холодный период в октябре – марте продолжительностью 5 и более суток со среднесуточной температурой воздуха ниже климатической нормы на 7 °С и более. Явление было введено в перечень опасных природных явлений с 2009 года. Необходимость в дополнительном термине, характеризующем морозную погоду, обусловлена тем, что продолжительный мороз, хотя и не достигающий критерия опасного явления (ОЯ) по температуре (-40 °С для территории Урала), может приводить к серьезным проблемам в работе систем жизнеобеспечения, перерасходу энергоресурсов, к возникновению ЧС.



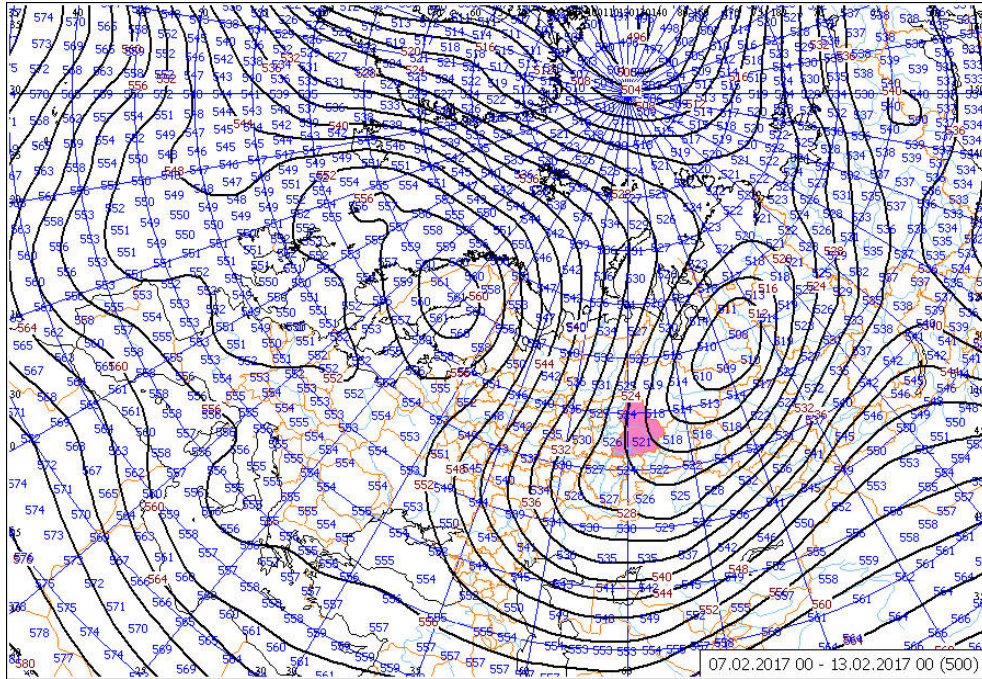
**Рис. 1. Карта аномалии среднесуточной температуры воздуха на 1–5 суток (<https://meteoinfo.ru/>).**

ЗЦЗЦ 035 210540/=H245  
 ЭФЕЕ50 МСВЦ 270410  
 ПРОГНОЗ МИНИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ЗА НОЧЬ, ВЕРОЯТНОСТИ И КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ ЗА СУТКИ, МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ЗА ДЕНЬ С 28.06.2018 ПО 02.07.2018 СОСТАВЛЕН 27.06.2018 В 04.10 УТЦ

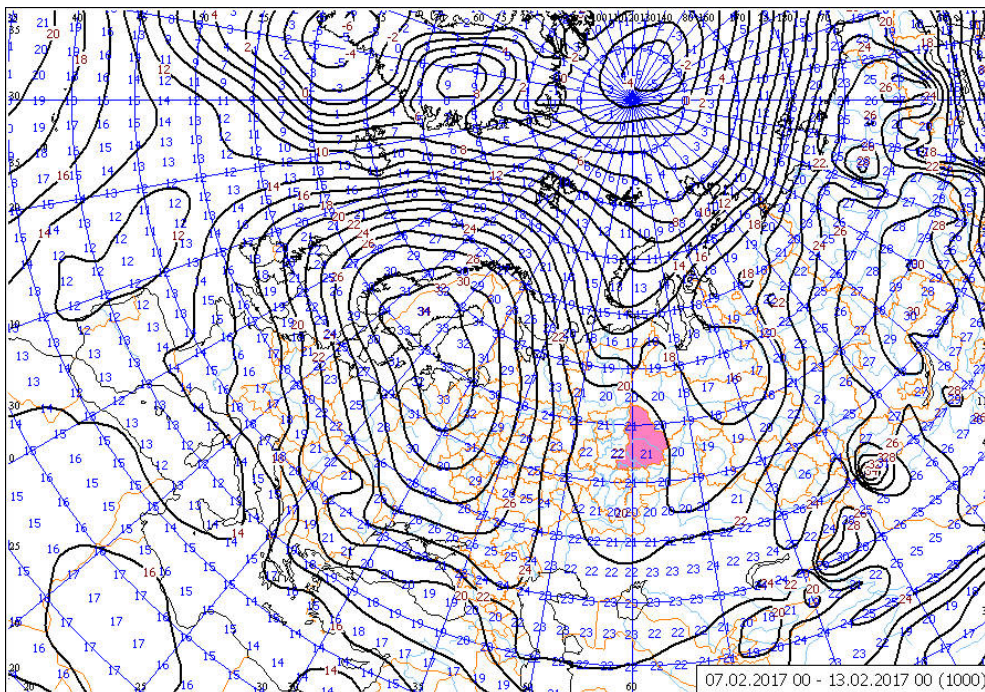
1.	17995	90	266;	14491	0	237;	12587	0	260;
	13783	0	283;	15579	0	289;			
2.	17295	28	285;	17291	23	227;	13787	0	249;
	13883	0	281;	15579	0	313;			
3.	15895	31	283;	17191	61	247;	14087	4	252;
	13583	0	269;	15079	0	303;			
4.	15495	60	264;	16591	42	244;	14287	9	227;
	12783	0	252;	13679	0	282;			
5.	18295	8	283;	15491	0	260;	12787	0	275;
	15283	0	297;	19066	6	307;			
6.	15895	99	264;	17291	67	231;	13887	12	225;
	12183	0	251;	13679	0	284;			
7.	18795	157	258;	13091	0	219;	11787	0	255;
	13583	0	278;	15156	23	256;			
8.	17795	116	258;	13789	1	221;	12087	0	255;
	13183	0	273;	15768	8	279;			
9.	16295	96	254;	13891	11	218;	10987	0	233;
	10883	0	261;	14155	36	284;			
10.	16795	38	272;	12591	0	239;	10487	0	260;
	13383	0	284;	16179	0	299;			
11.	16695	70	271;	13891	0	245;	11487	0	265;
	13783	0	285;	15971	4	298;			
12.	17595	38	277;	14291	0	248;	11487	0	265;
	14283	0	285;	16455	5	300;			
13.	16895	65	253;	13591	4	215;	9587	0	244;
	10483	0	284;	14155	2	216;			
14.	17595	86	269;	15891	23	221;	11287	0	236;
	11383	0	273;	15559	18	268;			
15.	17695	91	264;	15391	19	217;	11987	0	230;

**Рис. 2. Прогнозы РЭП по экстремальной температуре, детализированные по дням пентады.**

Как правило, anomalно-холодные периоды вызывались арктическими вторжениями с последующим стационарированием холодного ядра (рис. 3), усилением Сибирского (рис. 4) или Северо-Казахстанского антициклона (рис. 5).

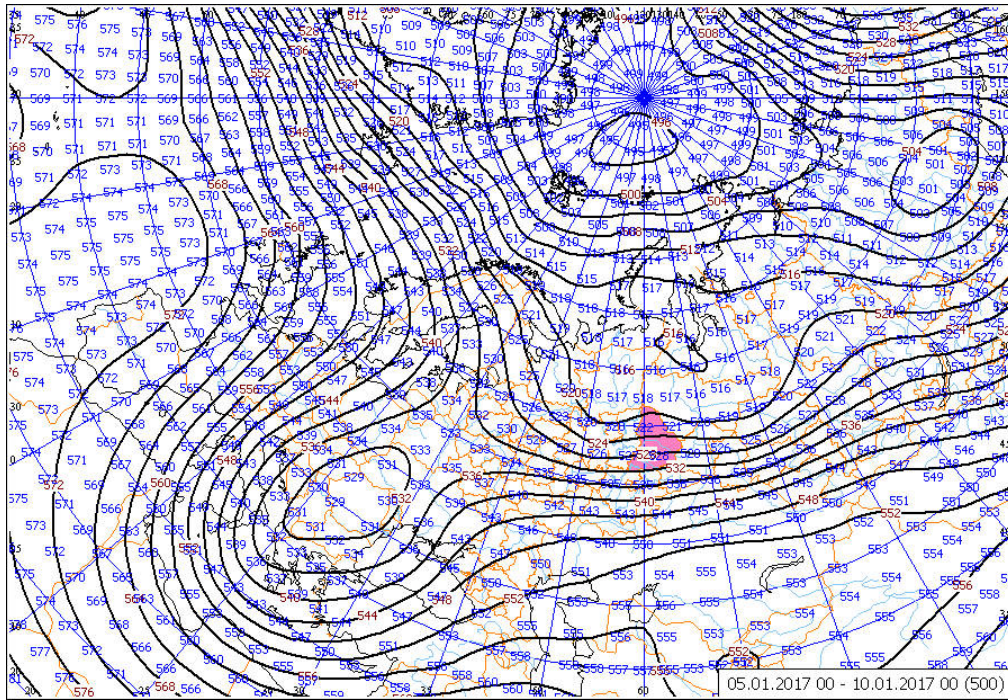


AT-500 гПа

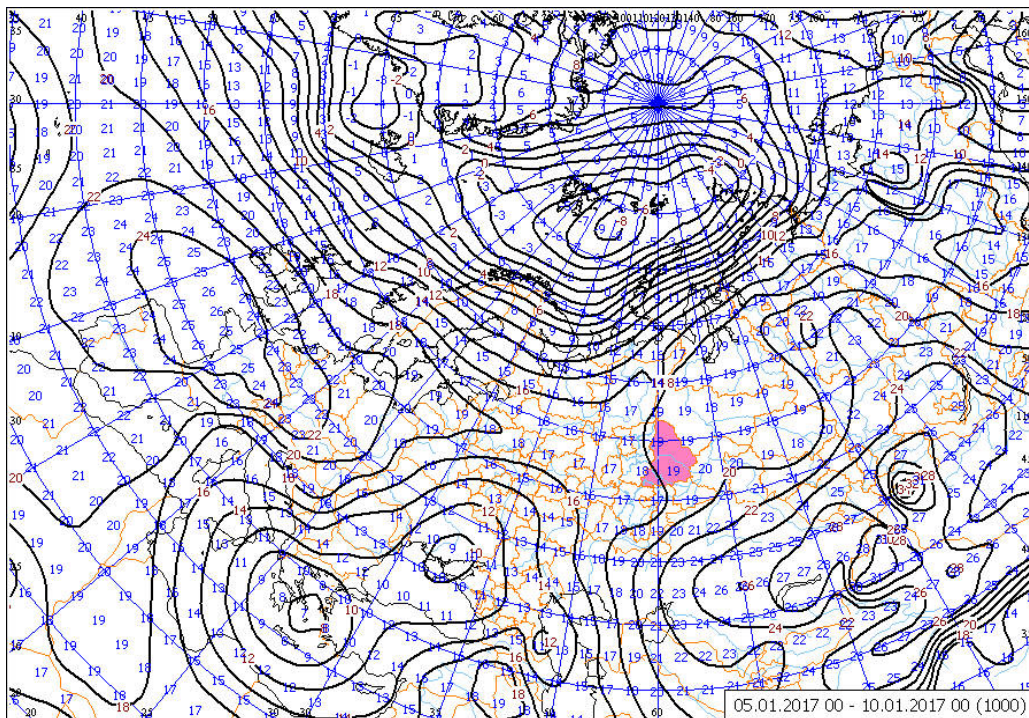


AT-1000 гПа

**Рис. 3. Средние карты anomalно-холодной погоды при ультраполярном вторжении.**

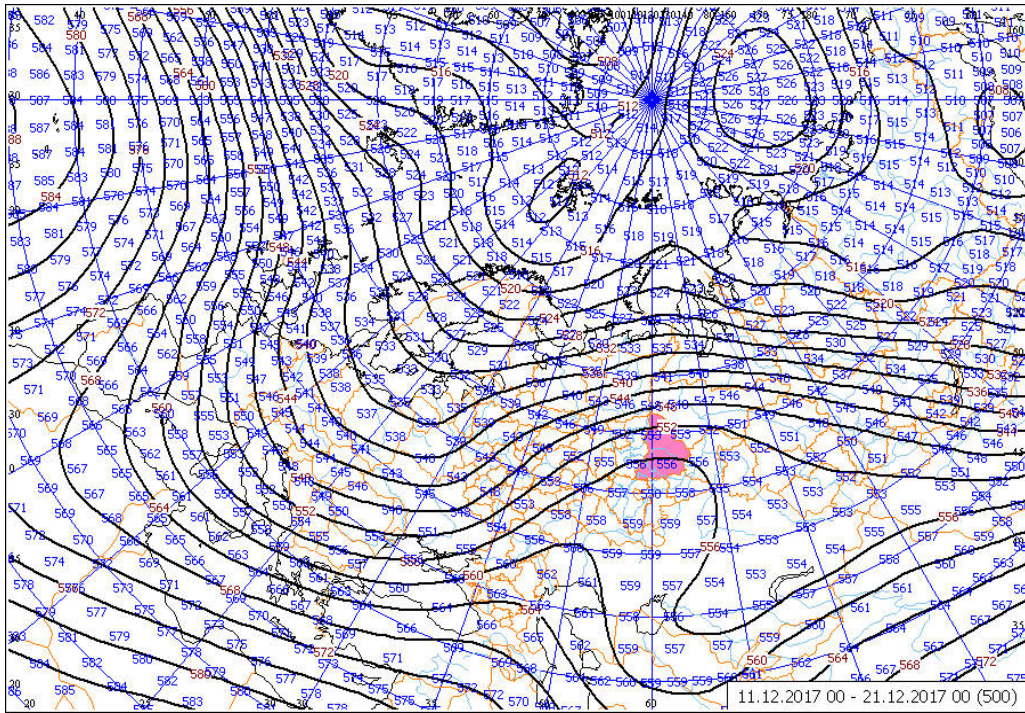


AT-500 гПа

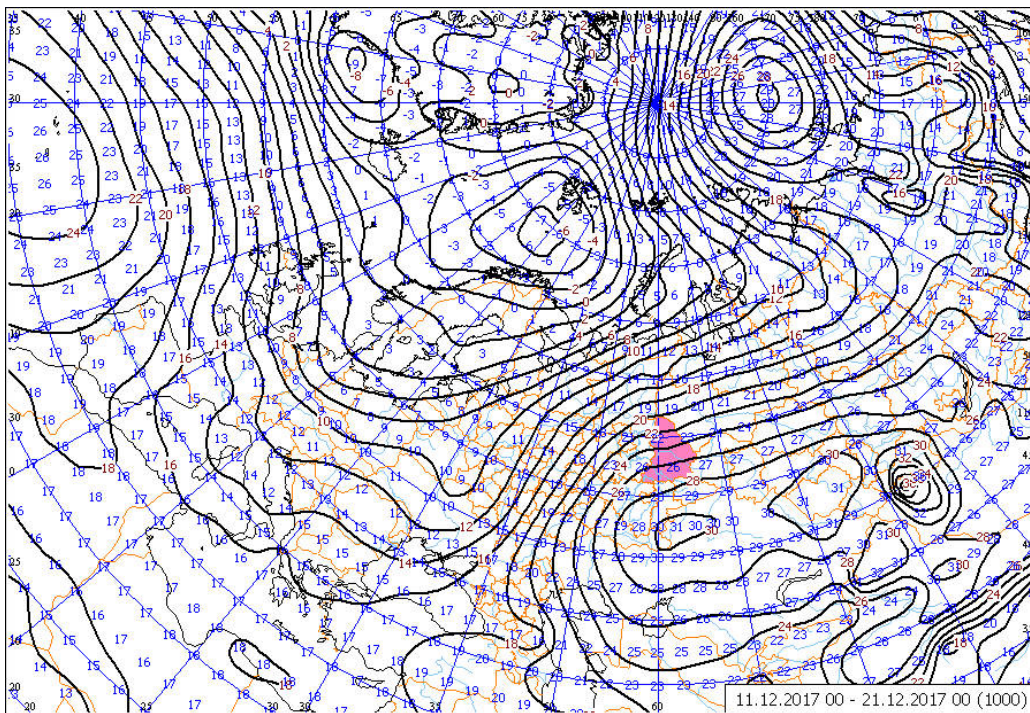


AT-1000 гПа

**Рис. 4. Средние карты аномально-холодной погоды  
адвективно-радиационного характера.**



AT-500 гПа



AT-1000 гПа

**Рис. 5. Средние карты аномально-холодной погоды при стационаровании Северо-Казахстанского антициклона**

В ФГБУ «Гидрометцентр России» впервые был разработан метод и технология прогноза аномально-холодных периодов для территории России (авторы метода и технологии Р.М. Вильфанд, П.П. Васильев, В.И. Лукьянов, А.Д. Голубев, Е.Л. Васильева) [1]. Технология прогноза состоит из двух последовательных этапов: первый – численный расчет по оперативным метеорологическим данным статистической модели РЭП (расчет элементов погоды) – прогноз температуры воздуха по территории Российской Федерации, картографирование районов с прогнозом наличия в них ОЯ; второй – составление окончательных прогностических предупреждений об ОЯ – аномально-холодной погоде прогнози-стом-синоптиком. Метод был испытан для территории России, результаты одобрены Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета. С 2016 года метод применяется в прогностических подразделениях Росгидромета.

При испытании метода в подразделениях Уральского УГМС сопоставление проводилось с прогнозами синоптиков, в качестве исходных материалов использовались:

- прогнозы РЭП по экстремальной температуре, детализированные по дням пентады (см. рис. 2);

- карты аномалии температуры на 1–5 суток на сайте Гидрометцентра России (рис. 1, <https://meteoinfo.ru/>);

- прогнозы-предупреждения синоптиков;

- фактические данные о средней суточной температуре по пунктам наблюдения и об ее отклонении от климатической нормы (норма 1961–1990 гг. в суточном разрешении).

Проводилась оценка прогнозов на пять суток ежедневно согласно Наставлению [3], а также по факту наличия и отсутствия явления согласно Методическим указаниям [2].

Сбор материала происходил в период с ноября 2016 по март 2018 года. Число прогнозов каждого вида (РЭП, карт аномалий температуры, синоптических) составило в Уральском УГМС – 217, Челябинском ЦГМС – 241, Пермском ЦГМС – 275. Оценивались прогнозы по пунктам, входящим в блок прогнозов РЭП по Уральскому УГМС, поступающие по каналу АСПД в 04.10 ч ВСВ.

В течение рассматриваемого периода на территории Челябинской области наблюда-лось 3 случая АХП, в Пермском крае – 4, Свердловской области – 5 случаев, которые для оценки были разбиты на последовательные пятидневные периоды. Аномально-холодные пе-риоды наблюдались 14–26 декабря 2016 г., 3–10 января 2017 г., 5–13 февраля 2017 г., 12–23 декабря 2017 г. и 22–27 января 2018 года.

Были составлены таблицы сопряженности (табл. 1), рассчитаны оправдываемость и предупрежденность прогнозов факта наличия, отсутствия anomalно холодной погоды в процентах по формулам (1) – (6) [2, 3]:

Таблица 1

Таблица сопряженности для прогноза anomalно холодной погоды

Прогноз	Наблюдалось		Сумма
	Явление	Без явления	
Явление	$N_{11}$	$N_{12}$	$N_{10}$
Без явления	$N_{21}$	$N_{22}$	$N_{20}$
Сумма	$N_{01}$	$N_{02}$	$N_{00}$

– общая оправдываемость прогноза ОЯ:

$$U = \frac{N_{11} + N_{22}}{N_{00}} \cdot 100; \quad (1)$$

– оправдываемость прогноза факта наличия ОЯ:

$$U_{\text{я}} = \frac{N_{11}}{N_{10}} \cdot 100; \quad (2)$$

– предупрежденность факта наличия ОЯ:

$$P_{\text{я}} = \frac{N_{11}}{N_{01}} \cdot 100; \quad (3)$$

– оправдываемость прогноза факта отсутствия явления:

$$U_{\text{б.я}} = \frac{N_{22}}{N_{20}} \cdot 100; \quad (4)$$

– предупрежденность факта отсутствия явления:

$$P_{\text{б.я}} = \frac{N_{22}}{N_{02}} \cdot 100; \quad (5)$$

– суммарный показатель  $U + P$ . (6)

Для оценки качества альтернативных прогнозов был рассчитан критерий качества Пирси – Обухова по формуле:

$$T = \frac{N_{11}}{N_{01}} - \frac{N_{12}}{N_{02}}. \quad (7)$$

Для оценки надежности альтернативных прогнозов был рассчитан критерий качества Н.А. Багрова по формуле:

$$H = \frac{U - U_0}{1 - U_0}. \quad (8)$$

В табл. 2–4 представлены характеристики успешности прогнозов аномально-холодных периодов по факту наличия и отсутствия данного явления по Челябинской и Свердловской областям и Пермскому краю.

Анализ характеристик успешности показывает, что прогнозы АХП имеют высокую общую оправдываемость. Прогнозы отсутствия явления по испытываемому методу оправдываются лучше, чем наличия явления. Низкая оправдываемость наличия явления 42–57 % наблюдалась в Челябинской области, включая синоптический метод, что может быть связано с малым количеством случаев АХП. Вследствие этого оказался низким и суммарный показатель оправдываемости – предупрежденности в Челябинской области. Невысока в целом предупредительность факта явления – от 50 до 63 % (у синоптического метода 80–100 %).

Остальные показатели имеют высокую степень доверия к методу.

Таблица 2

**Результаты испытания метода прогноза аномально-холодной погоды  
(по прогнозу аномалии среднесуточной температуры воздуха на 1–5 суток / прогнозу минимальной и максимальной температуры воздуха / синоптическому методу)  
по Свердловской области**

Прогноз	Наблюдалось		Сумма	U, %	U + П, %
	Явление	без явления			
С явлением	5/6/10	1/1/0	6/7/10	83/86/100	133/146/200
Без явления	5/4/0	206/206/207	211/210/207	98/98/100	198/197/200
Сумма	10/10/10	207/209/207	217/217/217		
П, %	50/60/100	100/99/100			
Q = 1/1/1 T = 0,5/0,6/1,0 H = 0,9/0,9/0,9 U (%) = 95/95/97					

Таблица 3

**Результаты испытания метода прогноза аномально-холодной погоды  
(по прогнозу аномалии среднесуточной температуры воздуха на 1–5 суток / прогнозу минимальной и максимальной температуры воздуха / синоптическому методу)  
по Челябинской области**

Прогноз	Наблюдалось		Сумма	U, %	U + П, %
	Явление	без явления			
С явлением	5/5/8	7/6/6	12/11/14	42/45/57	92/95/137
Без явления	5/5/2	224/225/225	229/230/227	98/98/99	195/195/196
Сумма	10	231	241		
П, %	50/50/80	97/97/97			
Т = 0,5/0,5/0,8 Н = 0,4/0,4/0,7 U (%) = 95/95/97					

Таблица 4

**Результаты испытания метода прогноза аномально-холодной погоды  
(по прогнозу аномалии среднесуточной температуры воздуха на 1–5 суток / прогнозу минимальной и максимальной температуры воздуха)  
по Пермскому краю (без синоптического метода)**

Прогноз	Наблюдалось		Сумма	U, %	U + П, %
	Явление	без явления			
С явлением	5/4	0/0	4/5	100/100	163/150
Без явления	3/4	267/267	270/271	99/98	199/198
Сумма	8/8	267/267	275/275		
П, %	63/50	100/100			
Т = 0,6/0,6 Н = 0,6/0,5 U (%) = 99/98					

## Выводы по итогам испытания

1. Всего за период испытаний на протяжении двух лет в Челябинской области отмечено 3, в Пермском крае – 4, в Свердловской области – 5 аномально-холодных периодов продолжительностью от 8 до 10 суток.

2. Показатели оправдываемости и успешности методических прогнозов ожидаемо уступают синоптическому методу (синоптик строит прогноз АХП как специалист, опираясь на знания в области общего анализа синоптического процесса, его региональных проявлений и на расчетные методы прогноза), но в целом по региону достаточно высокие, лишь в Челябинской области несколько ниже.

3. Метод прогноза аномально-холодной погоды заблаговременностью 24–144 часа имеет высокую общую оправдываемость, близкую к прогнозу синоптика, в среднем по региону 95–99 %.

4. При высокой предупреденности отсутствия явления (99 %), предупреденность факта его наличия невысока, в среднем 56 %, оправдываемость наличия АХП – 76 % (отсутствия – 98 %). Соответствующие показатели синоптического прогноза – 88–90 %.

5. Суммарный показатель оправдываемости – предупреденности в прогнозах по Свердловской области, Пермскому краю удовлетворяет критериям надежности, лишь в Челябинской области ниже 130 %. Критерии качества прогноза Пирси – Обухова и надежности Н.А. Багрова составляют во всех случаях и у всех методов 0,5 и выше, что говорит о надежности прогнозов.

Учитывая в целом хорошие показатели оправдываемости и успешности методических прогнозов (за исключением предупреденности по факту наличия АХП) и принимая во внимание, что данный метод является единственным объективным методом среднесрочного прогноза аномально-холодной погоды, Технический совет ФГБУ «Уральское УГМС» от 26.06.2018 г. рекомендовал внедрить метод в прогностическую работу подразделений ФГБУ «Уральское УГМС» в качестве основного метода. ЦМКП Росгидромета на заседании 26.09.2018 г. утвердила решение Технического совета.

## Список литературы

1. Вильфанд Р.М., Васильев П.П., Лукьянов В.И., Голубев А.Д., Васильева Е.Л., Мищенко С.Л. Метод прогноза опасного природного явления – аномально холодной погоды на 48–144 часа для территории России и результаты его испытания. Информационный сборник

№ 43. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. 2016. С. 80–93.

2. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и геофизических прогнозов.

3. РД 52.27.724-2009. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения.

4. РД 52.88.699-2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ  
ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА  
НА БАЗЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ВЫХОДНОЙ ПРОДУКЦИИ  
РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД  
В ОПЕРАТИВНО-ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ  
ФГБУ «ЗАПАДНО-СИБИРСКОЕ УГМС»**

<sup>1</sup> *Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Новосибирск;*

<sup>2</sup> *Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Новосибирск*

Целью испытаний являлось сравнение оправдываемости прогнозов температуры воздуха в холодный период различными подходами: Автоматизированной технологии расчета прогноза температуры воздуха на базе комплексирования выходной продукции различных моделей (COMPLEX) (далее «Комплекс», автор – М.Я. Здерева, СибНИГМИ), Автоматизированной технологии расчета прогноза температуры воздуха (WSIBMZ) (далее «Регион», автор – М.Я. Здерева, СибНИГМИ) и Метода прогноза минимальной и максимальной температуры воздуха (далее «РЭП», автор – П.П. Васильев, Гидрометцентр России) в оперативно-прогностических подразделениях ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС».

Метод и технология WSIBMZ были разработаны в 2009 г., внедрены в 2010 г. и основаны на базе MOS-интерпретации выходных полей моделей ECMF и UKMO [2]. Для получения корректирующих уравнений применен метод группового учета аргументов (МГУА) [1, 4] к предварительно разделенным выборкам по периодам года (холодный, теплый, переходный). Внутрисезонные выборки дополнительно подразделены по знаку первой производной по времени прогностической температуры на уровне АТ-850, а для холодного периода – по знаку изменения приземного давления. В силу громоздких вычислений по МГУА метод является неадаптивным, т. е. полученные уравнения не меняются, что является главной причиной потери качества прогнозов с увеличением времени использования.

Метод и технология COMPLEX разработаны в 2013 г., результаты начали внедряться в оперативную практику в 2015 г. Однако на тот момент удовлетворительное качество было показано только для теплого периода года. Технология основана на комплексации результатов прогнозов температуры по четырем моделям: COSMO\_Sib13, SLAV, UKMO, GFS, каждая из которых предварительно корректируется по оценке смещения [3]. Вычисление средней прогностической температуры производится с весовыми коэффициентами, обратными ошибке каждой модели. Метод является адаптивным, уравнения пересчитываются ежедневно по циклически заполняемой выборке, включающей предыдущие 40 суток. Это и является преимуществом по сравнению с технологией WSIBMZ, поскольку качество окончательного результата меняется пропорционально изменениям в модельных блоках. В последнее время существенные сдвиги в лучшую сторону показали результаты прогнозов температурных полей в модели SLAV. Соответственно повысилось качество прогнозов по технологии COMPLEX в течение всего года.

Сравнение экстремальной температуры воздуха проводилось в период январь – март, ноябрь – декабрь 2018 г. по территории Новосибирской, Томской, Кемеровской областей, Алтайского края и по пунктам: Учебная, ОбьГЭС, Огурцово, Томск, Кемерово, Барнаул. Выходная продукция представлялась ежедневно в виде таблиц по станциям территории. Расчет прогнозов производился в оперативном режиме по исходному сроку 00 ч ВСВ с заблаговременностью 24–72 ч и представлялся на сервере ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС».

На первом этапе была проведена сравнительная оценка оправдываемости прогнозов температуры по территории по четырем областям (кроме Республики Алтай). Рассмотрено 604 случая прогнозов для 113 станций (табл. 1). Средняя оправдываемость прогнозов минимальной температуры по методу «Комплекс» на первые сутки составляет 76,3 %; максимальной температуры – 83,9 %, понижаясь ко вторым и третьим суткам до 62,7 %. Оправдываемость прогнозов температуры по методу «Регион» на первые сутки ниже, чем по методу «Комплекс», и составляет 61,2 % (минимальная температура) и 69,2 % (максимальная температура), также понижаясь к третьим суткам до 52,9 %. Прогнозы метода «Комплекс» имеют по всем заблаговременностям оправдываемость в среднем на 8–15 % выше: оправдываемость составляет 62,7–83,9 %, а по методу «Регион» – 52,9–69,2 %. Необходимо отметить, что у обеих моделей более удачными являются прогнозы максимальной температуры воздуха на первые сутки, сохраняется общая тенденция к понижению оправдываемости прогнозов в зависимости от заблаговременности.

**Сравнительная оценка оправдываемости прогнозов температуры воздуха по методам  
«Комплекс» (К) и «Регион» (Р) по территории ответственности  
ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» за период январь – март и ноябрь – декабрь 2018 г.**

Территория	Кол-во случаев	1 сутки				2 сутки				3 сутки			
		К		Р		К		Р		К		Р	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Новосибирская обл.	151	79	85	64	66	74	81	59	64	67	65	54	63
Томская обл.	151	79	84	60	69	72	79	57	65	63	63	49	63
Кемеровская обл.	151	71	80	55	69	62	78	54	66	57	66	51	64
Алтайский край	151	77	87	65	72	67	83	62	66	63	66	58	65
<b>Средняя</b>	<b>Σ 604</b>	<b>76,3</b>	<b>83,9</b>	<b>61,2</b>	<b>69,2</b>	<b>69,0</b>	<b>80,2</b>	<b>58,2</b>	<b>65,3</b>	<b>62,7</b>	<b>64,9</b>	<b>52,9</b>	<b>63,8</b>

При анализе оправдываемости прогнозов экстремальной температуры воздуха по субъектам территории деятельности Западно-Сибирского УГМС по месяцам было выявлено, что разница в оправдываемости между двумя рассматриваемыми методами составляет в среднем 10–15 % в пользу метода «Комплекс» (табл. 2–5). Оправдываемость прогнозов дневных температур с заблаговременностью 1 сутки по методу «Комплекс» по всем областям оказалась выше на 20–25 % и колеблется от 70 до 91 %. При этом в январе по Томской области по методу «Регион» максимальные температуры (с заблаговременностью 72 часа) были спрогнозированы лучше на 4 % и составили 68 %, в Алтайском крае максимальные температуры (с заблаговременностью 72 часа) за все рассматриваемые месяцы, кроме февраля и марта, также были лучше спрогнозированы на 1–5 % и составили 60–77 % (табл. 6).

Таблица 2

**Сравнительная оценка оправдываемости прогнозов температуры воздуха по методам  
«Комплекс» (К) и «Регион» (Р) по Новосибирской области за период январь – март  
и ноябрь – декабрь 2018 г.**

Месяц	Кол-во случаев	1 сутки				2 сутки				3 сутки			
		К		Р		К		Р		К		Р	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Январь	31	79	85	64	66	71	81	60	59	67	56	58	57
Февраль	28	75	88	68	60	72	84	59	58	72	73	54	59
Март	31	84	89	72	66	78	85	67	69	74	77	66	71
Ноябрь	30	73	77	68	77	69	69	61	73	50	51	46	66
Декабрь	31	85	86	50	63	79	86	49	62	72	67	45	62
<b>Средняя</b>	<b>Σ 151</b>	<b>79</b>	<b>85</b>	<b>64</b>	<b>66</b>	<b>74</b>	<b>81</b>	<b>59</b>	<b>64</b>	<b>67</b>	<b>65</b>	<b>54</b>	<b>63</b>

**Сравнительная оценка оправдываемости прогнозов температуры воздуха  
по методам «Комплекс» (К) и «Регион» (Р) по Томской области  
за период январь – март и ноябрь – декабрь 2018 г.**

Месяц	Кол-во случаев	1 сутки				2 сутки				3 сутки			
		К		Р		К		Р		К		Р	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Январь	31	73	87	61	70	70	82	60	68	66	64	58	68
Февраль	28	73	88	66	77	72	87	67	73	66	80	62	73
Март	31	78	87	63	68	71	83	62	68	65	74	55	66
Ноябрь	30	86	70	59	66	74	62	51	53	56	41	29	48
Декабрь	31	83	89	50	65	75	80	47	61	64	54	39	62
<b>Средняя</b>	<b>Σ 151</b>	<b>79</b>	<b>84</b>	<b>60</b>	<b>69</b>	<b>72</b>	<b>79</b>	<b>57</b>	<b>65</b>	<b>63</b>	<b>63</b>	<b>49</b>	<b>63</b>

Таблица 4

**Сравнительная оценка оправдываемости прогнозов температуры воздуха  
по методам «Комплекс» (К) и «Регион» (Р) по Кемеровской области  
за период январь – март и ноябрь – декабрь 2018 г.**

Месяц	Кол-во случаев	1 сутки				2 сутки				3 сутки			
		К		Р		К		Р		К		Р	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Январь	31	69	82	50	65	62	79	55	63	58	63	54	61
Февраль	28	63	90	52	80	57	89	53	75	60	80	56	73
Март	31	71	82	67	74	68	79	65	69	63	74	64	69
Ноябрь	30	86	70	60	72	70	70	58	71	58	57	47	65
Декабрь	31	65	74	46	53	54	71	38	53	47	58	36	51
<b>Средняя</b>	<b>Σ 151</b>	<b>71</b>	<b>80</b>	<b>55</b>	<b>69</b>	<b>62</b>	<b>78</b>	<b>54</b>	<b>66</b>	<b>57</b>	<b>66</b>	<b>51</b>	<b>64</b>

Таблица 5

**Сравнительная оценка оправдываемости прогнозов температуры воздуха  
по методам «Комплекс» (К) и «Регион» (Р) по Алтайскому краю  
за период январь – март и ноябрь – декабрь 2018 г.**

Месяц	Кол-во случаев	1 сутки				2 сутки				3 сутки			
		К		Р		К		Р		К		Р	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Январь	31	78	86	65	68	67	83	60	65	62	59	61	64
Февраль	28	73	91	69	65	71	85	65	58	70	64	56	59
Март	31	79	88	64	69	69	84	64	67	67	72	58	65
Ноябрь	30	78	85	70	88	64	84	67	80	58	76	61	77
Декабрь	31	75	83	59	71	66	80	56	61	59	58	52	60
<b>Средняя</b>	<b>Σ 151</b>	<b>77</b>	<b>87</b>	<b>65</b>	<b>72</b>	<b>67</b>	<b>83</b>	<b>62</b>	<b>66</b>	<b>63</b>	<b>66</b>	<b>58</b>	<b>65</b>

**Оправдываемость прогнозов температуры воздуха по методу «Комплекс»  
по Республике Алтай за период январь – март и ноябрь – декабрь 2018 г.**

Месяц	Кол-во случаев	1 сутки		2 сутки		3 сутки	
		min	max	min	max	min	max
Январь	31	72	70	66	68	60	58
Февраль	28	73	70	69	67	66	64
Март	31	75	74	68	73	65	67
Ноябрь	30	69	78	67	76	56	64
Декабрь	31	57	60	55	58	54	49
<b>Средняя</b>	<b>Σ 151</b>	<b>69</b>	<b>70</b>	<b>65</b>	<b>68</b>	<b>60</b>	<b>60</b>

Произведена сравнительная оценка оправдываемости и ошибки прогнозов экстремальной температуры воздуха ( $\delta$ ) по шести пунктам (Учебная, ОбьГЭС, Огурцово, Томск, Кемерово, Барнаул) Западно-Сибирского УГМС по месяцам.

В Барнауле (табл. 7) оправдываемость прогнозов ночных температур с заблаговременностью 1 сутки и дневных температур с заблаговременностью 1–2 сутки по методу «Комплекс» оказалась выше на 30–37 % и колеблется от 75 до 87 %. При этом есть случаи, когда температура по методу «Регион» была спрогнозирована лучше. Так, в зимний период на станции Учебная оправдываемость прогнозов ночных температур на 3 сутки по методу «Регион» была выше в феврале на 3 %, декабре – на 7 %, январе – на 15 %. На станции Огурцово (табл. 8) в декабре оправдываемость дневных температур на 3 сутки по методу «Регион» оказалась лучше на 20 % (68 % против 48 %). На станциях ОбьГЭС, Томск, Кемерово, Барнаул по методу «Регион» в отдельные периоды также максимальные температуры были спрогнозированы лучше на 4–15 % по сравнению с методом «Комплекс».

При анализе средней абсолютной ошибки прогнозов температуры было выявлено, что ошибка прогноза метода «Комплекс» заблаговременностью 1–2 сутки находится в пределах 1,4–3,5 °С (кроме ошибки минимальной температуры в январе по Кемерово, которая составила на 1 сутки 3,6 °С, на 2 сутки – 3,8 °С, что считается, согласно Наставлению [5], допустимым критерием успешности прогнозов. В большинстве случаев ошибка метода «Комплекс» меньше ошибки метода «Регион» на 0,1–1,5 °С.

Неоправдавшиеся прогнозы погоды, по оценке синоптической ситуации, в основном связаны в зимний период с антициклональным полем у земли и наличием инверсии в атмосфере.

**Сравнительная оценка оправдываемости прогнозов температуры воздуха  
по методам «Комплекс» (К) и «Регион» (Р) по станции Барнаул  
за период январь – март и ноябрь – декабрь 2018 г.**

Месяц	Кол-во случаев	Комплекс				Регион			
		min	$\delta$	max	$\delta$	min	$\delta$	max	$\delta$
<b>1 сутки</b>									
Январь	31	84	2,6	87	1,5	71	2	84	1,6
Февраль	28	75	2,3	89	1,8	71	1,5	57	1,1
Март	31	77	2,4	90	1,4	58	2,1	71	1,8
Ноябрь	30	80	2,1	80	1,4	67	1,5	90	0,8
Декабрь	31	87	2,1	81	2,1	58	1,4	84	1,4
<b>Средняя</b>	$\Sigma 151$	81	2,4	85	1,6	65	1,9	77	1,5
<b>2 сутки</b>									
Январь	31	68	3,1	87	1,7	71	2,8	77	1,8
Февраль	28	64	2,4	82	2,3	71	2,7	61	3,1
Март	31	65	2,8	94	1,6	61	2,8	65	2,5
Ноябрь	30	60	2,8	80	1,9	63	2,7	80	1,5
Декабрь	31	74	2,2	84	2	58	3,7	74	2,9
<b>Средняя</b>	$\Sigma 151$	66	2,8	85	1,9	65	2,8	71	2,5
<b>3 сутки</b>									
Январь	31	68	3,4	63	3	81	2,4	74	1,8
Февраль	28	71	2,7	71	3,5	57	3,4	57	3,2
Март	31	68	3	84	2,2	48	2,5	71	2,2
Ноябрь	30	60	2,8	80	3,5	53	3,5	73	1,6
Декабрь	31	65	2,2	68	3,2	55	2,6	65	3
<b>Средняя</b>	$\Sigma 151$	66	3,0	73	2,9	59	2,8	68	2,4

В среднем оправдываемость прогнозов минимальной и максимальной температуры воздуха по методу «Комплекс» в Алтайском крае колеблется в пределах 69–70 % (соответственно) на первые сутки, снижаясь к третьим суткам до 60 % (см. табл. 6). Оправдываемость прогнозов по станции Кызыл-Озек (табл. 9) также снижается к третьим суткам, но при этом средняя оправдываемость по пункту на 6–20 % выше, чем по Алтайскому краю в целом. Проведенная оценка средней абсолютной ошибки ( $\delta$ ) прогнозов температуры на станции Кызыл-Озек по всем заблаговременностям, кроме максимальной температуры на 3 сутки в марте и декабре, находится в допустимых пределах.

**Сравнительная оценка оправдываемости прогнозов температуры воздуха  
по методам «Комплекс» и «Регион» по станции Огурцово  
за период январь – март и ноябрь – декабрь 2018 г.**

Месяц	Кол-во случаев	Комплекс				Регион			
		min	δ	max	δ	min	δ	max	δ
<b>1 сутки</b>									
Январь	31	74	2,4	74	2,1	77	3	71	3
Февраль	28	79	2,4	79	2,2	68	2,6	61	2,7
Март	31	84	2	97	1,5	84	2,2	74	2,5
Ноябрь	30	80	1,2	60	1,5	77	1,9	87	0,6
Декабрь	31	84	1,8	87	1,9	42	3,4	48	3,4
<b>Средняя</b>	Σ151	80	2,0	79	1,8	70	2,6	68	2,4
<b>2 сутки</b>									
Январь	31	74	2,6	74	2,5	65	3,2	55	2,8
Февраль	28	68	2,8	71	2,6	64	3,5	54	3,7
Март	31	84	2,3	90	1,6	77	2,5	74	2,6
Ноябрь	30	60	1,2	60	2,2	63	3,1	77	1,9
Декабрь	31	84	1,7	97	1,7	42	5,5	55	4,2
<b>Средняя</b>	Σ151	74	2,1	78	2,1	62	3,6	63	3,0
<b>3 сутки</b>									
Январь	31	68	3,1	50	3,8	58	3,7	52	3
Февраль	28	71	2,9	61	3,7	57	3,9	64	3,9
Март	31	74	2,5	77	1,7	68	2	77	1,9
Ноябрь	30	40	1,4	40	3,6	40	4,2	70	2,3
Декабрь	31	77	2,7	74	2,7	35	6,4	55	4
<b>Средняя</b>	Σ 151	66	2,5	60	3,1	52	4,0	64	3,0

**Оправдываемость прогнозов температуры воздуха по методу «Комплекс» на станции  
Кызыл-Озек за период январь – март и ноябрь – декабрь 2018 г.**

Месяц	Кол-во случаев	1 сутки				2 сутки				3 сутки			
		min	δ	max	δ	min	δ	max	δ	min	δ	max	δ
Январь	31	84	2,2	87	2	84	2,2	87	2,2	77	2,7	67	2,4
Февраль	28	89	1,5	96	1,4	86	1,7	89	1,5	86	1,7	75	2,7
Март	31	90	1,8	94	1,6	68	2,4	87	2	71	1,7	55	3,6
Ноябрь	30	100	2,1	80	1,9	100	2,3	100	2,1	80	2,7	60	3,1
Декабрь	31	81	1,9	81	2,4	84	2,2	84	2,3	77	2,7	55	4,1
<b>Средняя</b>	Σ 151	89	1,9	88	1,9	84	2,2	89	2,0	78	2,3	66	3,2

В связи с тем, что основным расчетным методом прогноза температуры воздуха на территории Западно-Сибирского УГМС является метод «РЭП», был проведен сравнительный анализ оправдываемости и абсолютной ошибки метода «Комплекс» с основным методом по пяти административным центрам (Учебная, Томск, Кемерово, Барнаул, Кызыл-Озек) Западно-Сибирского УГМС по месяцам (табл. 10–14). Прогнозы «РЭП» имеют оправдываемость в среднем на 2–10 % выше оценок успешности метода «Комплекс».

Таблица 10

**Сравнительная оценка оправдываемости прогнозов температуры воздуха  
по методам «Комплекс» и «РЭП» по станции Учебная  
за период январь – март и ноябрь – декабрь 2018 г.**

Месяц	Кол-во случаев	Комплекс				РЭП			
		min	$\delta$	max	$\delta$	min	$\delta$	max	$\delta$
<b>1 сутки</b>									
Январь	31	90	1,4	87	1,8	83,9	1,9	83,9	2,0
Февраль	28	86	1,8	79	2,3	89,3	1,4	96,4	1,6
Март	31	90	1,7	90	1,7	97	1,3	90	1,6
Ноябрь	30	60	1,3	60	1,6	87	1,8	97	1,2
Декабрь	31	90	1,3	90	1,6	97	1,6	81	1,5
<b>Средняя</b>	$\Sigma$ 151	83	1,5	81	1,8	91	1,6	90	1,6
<b>2 сутки</b>									
Январь	31	90	1,6	77	2,2	84	1,7	87	2
Февраль	28	86	2	68	2,8	89	1,7	89	1,8
Март	31	94	1,7	90	1,8	97	1,2	83	1,8
Ноябрь	30	60	1,4	60	2,3	90	1,8	97	1,2
Декабрь	31	94	1,3	97	1,5	90	1,7	84	1,7
<b>Средняя</b>	$\Sigma$ 151	85	1,6	78	2,1	90	1,6	88	1,7
<b>3 сутки</b>									
Январь	31	81	2	50	3,2	81	2	71	2,4
Февраль	28	86	2,3	61	3,6	93	1,8	79	1,9
Март	31	97	1,6	77	1,8	97	1,5	87	1,9
Ноябрь	30	40	1,6	40	4,4	80	2,1	90	1,6
Декабрь	31	74	2,1	81	2,4	81	2,1	51	1,9
<b>Средняя</b>	$\Sigma$ 151	76	1,9	62	3,1	86	1,9	76	1,9

**Сравнительная оценка оправдываемости прогнозов температуры воздуха  
по методам «Комплекс» и «РЭП» по станции Томск  
за период январь – март и ноябрь – декабрь 2018 г.**

Месяц	Кол-во случаев	Комплекс				РЭП			
		min	$\delta$	max	$\delta$	min	$\delta$	max	$\delta$
<b>1 сутки</b>									
Январь	31	84	1,8	90	1,8	84	1,8	81	2,1
Февраль	28	75	2,3	82	2,2	82	1,7	89	1,6
Март	31	90	2	77	1,9	97	1,5	90	1,5
Ноябрь	30	80	1,6	60	2,1	80	2	90	1,7
Декабрь	31	90	1,6	94	1,4	84	2	97	1,1
<b>Средняя</b>	$\Sigma$ 151	84	1,9	81	1,9	85	1,8	89	1,6
<b>2 сутки</b>									
Январь	31	87	1,7	87	1,9	84	1,6	74	2,2
Февраль	28	75	2,1	89	2,3	82	1,8	89	1,4
Март	31	87	2,2	74	2	93	1,6	97	1,5
Ноябрь	30	80	2	40	2,9	87	2	83	2
Декабрь	31	94	1,6	94	1,6	81	2,2	94	1,6
<b>Средняя</b>	$\Sigma$ 151	85	1,9	77	2,1	85	1,8	87	1,7
<b>3 сутки</b>									
Январь	31	81	2,5	53	3,4	81	2	77	2,6
Февраль	28	79	2,2	71	2,8	89	1,7	86	1,6
Март	31	71	2,6	77	1,9	93	1,8	90	1,7
Ноябрь	30	80	2	60	4,7	87	2,4	70	2,6
Декабрь	31	71	2,3	77	3,1	74	2,4	97	1,7
<b>Средняя</b>	$\Sigma$ 151	76	2,3	68	3,2	85	2,1	84	2,0

**Сравнительная оценка оправдываемости прогнозов температуры воздуха  
по методам «Комплекс» и «РЭП» по станции Кемерово  
за период январь – март и ноябрь – декабрь 2018 г.**

Месяц	Кол-во случаев	Комплекс				РЭП			
		min	$\delta$	max	$\delta$	min	$\delta$	max	$\delta$
<b>1 сутки</b>									
Январь	31	55	3,6	68	2,8	55	3,4	71	2,3
Февраль	28	64	3,1	79	2,3	57	3,1	86	2,2
Март	31	77	2,6	87	1,5	77	2,4	93	1,4

Ноябрь	30	80	1,9	60	1,3	80	2,1	97	1
Декабрь	31	61	3,5	68	3,1	52	4	61	3,4
<b>Средняя</b>	$\Sigma$ 151	67	2,9	72	2,2	64	3,0	82	2,1
<b>2 сутки</b>									
Январь	31	35	3,8	68	3,2	52	3,5	81	2,4
Февраль	28	50	3,4	75	2,4	64	3,3	86	2,2
Март	31	77	2,8	87	1,7	77	2,2	93	1,6
Ноябрь	30	60	2,1	60	2,4	93	1,8	93	1,3
Декабрь	31	39	4	61	3,3	39	4,3	58	3,6
<b>Средняя</b>	$\Sigma$ 151	52	3,2	70	2,6	65	3,0	82	2,2
<b>3 сутки</b>									
Январь	31	45	4,4	57	4,2	42	4	71	2,8
Февраль	28	46	3,3	68	2,7	54	3,2	68	2,3
Март	31	68	3,5	87	1,3	70	2,5	93	1,7
Ноябрь	30	40	2	40	5,2	87	1,9	93	1,3
Декабрь	31	39	4,7	52	4,8	36	5,1	61	3,8
<b>Средняя</b>	$\Sigma$ 151	48	3,6	61	3,6	58	3,3	77	2,4

Таблица 13

**Сравнительная оценка оправдываемости прогнозов температуры воздуха  
по методам «Комплекс» и «РЭП» по станции Барнаул  
за период январь – март и ноябрь – декабрь 2018 г.**

Месяц	Кол-во случаев	Комплекс				РЭП			
		min	$\delta$	max	$\delta$	min	$\delta$	max	$\delta$
<b>1 сутки</b>									
Январь	31	84	2,6	87	1,5	87	1,8	94	1,6
Февраль	28	75	2,3	89	1,8	75	2,5	96	1,7
Март	31	77	2,4	90	1,4	77	2,5	100	1,5
Ноябрь	30	80	2,1	80	1,4	77	2,4	100	1
Декабрь	31	87	2,1	81	2,1	74	2,8	84	1,7
<b>Средняя</b>	$\Sigma$ 151	81	2,3	85	1,6	78	2,4	95	1,5
<b>2 сутки</b>									
Январь	31	68	3,1	87	1,7	81	2	90	1,7
Февраль	28	64	2,4	82	2,3	68	2,7	96	1,7
Март	31	65	2,8	94	1,6	63	2,6	100	1,5
Ноябрь	30	60	2,8	80	1,9	73	2,6	100	1,1
Декабрь	31	74	2,2	84	2	65	3,1	97	1,8
<b>Средняя</b>	$\Sigma$ 151	66	2,7	85	1,9	70	2,6	97	1,6

3 сутки									
Январь	31	68	3,4	63	3	81	2,1	90	1,7
Февраль	28	71	2,7	71	3,5	68	3,1	89	2
Март	31	68	3	84	2,2	70	2,4	100	1,4
Ноябрь	30	60	2,8	80	3,5	63	2,7	97	1,1
Декабрь	31	65	2,2	68	3,2	55	3,6	84	2,2
<b>Средняя</b>	$\Sigma$ 151	66	2,8	73	3,1	67	2,8	92	1,7

Таблица 14

**Сравнительная оценка оправдываемости прогнозов температуры воздуха  
по методам «Комплекс» и «РЭП» по станции Кызыл-Озек  
за период январь – март и ноябрь – декабрь 2018 г.**

Месяц	Кол-во случаев	Комплекс				РЭП			
		min	$\delta$	max	$\delta$	min	$\delta$	max	$\delta$
<b>1 сутки</b>									
Январь	31	84	2,2	87	2	77	2,1	87	1,8
Февраль	28	89	1,5	96	1,4	82	1,8	93	1,4
Март	31	90	1,8	94	1,6	83	2	90	1,4
Ноябрь	30	100	2,1	80	1,9	73	2,5	93	1,7
Декабрь	31	81	1,9	81	2,4	84	2,3	94	1,6
<b>Средняя</b>	$\Sigma$ 151	89	1,9	88	1,9	80	2,1	91	1,6
<b>2 сутки</b>									
Январь	31	84	2,2	87	2,2	74	2,5	84	1,9
Февраль	28	86	1,7	89	1,5	86	1,7	93	1,6
Март	31	68	2,4	87	2	73	2,3	90	1,5
Ноябрь	30	100	2,3	100	2,1	80	2,8	90	1,9
Декабрь	31	84	2,2	84	2,3	71	2,7	87	1,5
<b>Средняя</b>	$\Sigma$ 151	84	2,2	89	2,0	77	2,4	89	1,7
<b>3 сутки</b>									
Январь	31	77	2,7	67	2,4	68	2,7	77	2,2
Февраль	28	86	1,7	75	2,7	86	2	96	1,8
Март	31	71	1,7	55	3,6	70	2,4	80	1,9
Ноябрь	30	80	2,7	60	3,1	67	2,8	87	2,1
Декабрь	31	77	2,7	55	4,1	74	2,7	81	1,8
<b>Средняя</b>	$\Sigma$ 151	78	2,3	66	3,2	73	2,5	84	2,0

При анализе средней абсолютной ошибки ( $\delta$ ) прогнозов температуры (табл. 10–14) было выявлено, что ошибка прогноза методами «Комплекс» и «РЭП» заблаговременностью 1–2 сутки находится в пределах 1,4–3,1 °С. Исключение составляет ошибка минимальной

температуры в январе по методу «Комплекс» по пункту Кемерово, которая составила на 1 сутки 3,6 °С, и ошибка минимальной температуры в декабре по методу «РЭП» на 1 сутки, которая составила 4 °С. В большинстве случаев ошибка «РЭП» меньше ошибки метода «Комплекс» на 0,1–0,9 °С.

Прогнозы «РЭП» имеют по всем заблаговременностям оправдываемость в среднем на 1–8 % выше и составляют 74–89 %, а оправдываемость прогнозов по методу «Комплекс» составляет 66–81 % (табл. 15). Необходимо отметить, что у обеих моделей сохраняется общая тенденция к понижению оправдываемости прогнозов в зависимости от заблаговременности.

Таблица 15

**Сравнительная оценка оправдываемости прогнозов температуры воздуха  
по методам «Комплекс» (К) и «РЭП» по административным центрам  
за период январь – март и ноябрь – декабрь 2018 г.**

Месяц	Кол-во случаев	1 сутки				2 сутки				3 сутки			
		К		РЭП		К		РЭП		К		РЭП	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Январь	151	83	81	91	90	85	78	90	88	76	62	86	76
Февраль	151	84	81	85	89	85	77	85	87	76	68	85	84
Март	151	67	72	64	82	52	70	65	82	48	61	58	77
Ноябрь	151	81	85	78	95	66	85	70	97	66	73	67	92
Декабрь	151	89	88	80	91	84	89	77	89	78	66	73	84
<b>Средняя</b>	<b>Σ 755</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>80</b>	<b>89</b>	<b>74</b>	<b>80</b>	<b>77</b>	<b>89</b>	<b>69</b>	<b>66</b>	<b>74</b>	<b>83</b>

На основе результатов испытаний можно сделать следующие выводы:

– в большинстве случаев, как по области, так и по пункту, метод «Комплекс» имеет меньшую ошибку и более высокую оправдываемость, чем метод «Регион», при этом большую ошибку и меньшую оправдываемость, чем «РЭП», однако разница во втором сравнении существенно меньше, чем в первом;

– ошибка методов «Комплекс», «Регион» и «РЭП» в среднем не превышает предельно допустимых значений;

– методы «Комплекс» и «Регион» недостаточно успешно прогнозируют температуру в условиях инверсионного распределения температуры с высотой.

На основании вышеизложенного секция Технического совета Гидрометцентра ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» от 20.02.2019 г. постановила:

1. Внедрить с 1 марта 2019 года метод «Автоматизированная технология расчета прогноза температуры воздуха на базе комплексирования выходной продукции различных мо-

делей (COMPLEX)» (автор – М.Я. Здерева, СибНИГМИ) в качестве вспомогательного расчетного метода в холодный период.

2. Исключить с 1 марта 2019 года из Плана применения методов гидрометеорологических прогнозов на оперативно-прогностической сети ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» метод «Автоматизированная технологии расчета прогноза температуры воздуха (WSIBMZ)» (автор – М.Я. Здерева, СибНИГМИ) в связи с низкой оправдываемостью и внедрением более успешной автоматизированной технологии «Комплекс» с заблаговременностью 24–72 ч.

3. Провести сравнительный анализ оправдываемости прогнозов температуры на 4–5 сутки метода «Регион» и «РЭП» в холодный период.

### Список литературы

1. Здерева М.Я., Токарев В.М., Виноградова М.В. Автоматизированный прогноз температуры воздуха с обучением по методу группового учета аргументов // Труды СибНИГМИ. – 2011. – Вып. 106. – С. 143–151.

2. Здерева М.Я., Аникина Н.В., Виноградова М.В. Результаты испытания метода и технологии расчета комплексного прогноза температуры воздуха, осадков и индекса пожароопасности по административным районам Алтайского края, Томской, Кемеровской областей и Ханты-Мансийского автономного округа // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2012. – Информационный сборник № 39 – С.101–109.

3. Здерева М.Я., Хлучина Н.А. Изменение качества модельных прогнозов температуры воздуха после применения алгоритмов интерпретации на примере выходных данных мезомодели COSMO для территории Западной Сибири в летнем периоде // Тезисы докладов Международной научной конференции по региональным проблемам гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, Казань, 2–4 октября 2012 г. – Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2012. – С. 44–45.

4. Ивахненко А.Г., Юрачковский Ю.П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. – М.: Радио и связь, 1987. – 120 с.

5. РД 52.27.724-2009. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. – 50 с.

*А.Б. Колкер<sup>1</sup>, А.В. Гочаков<sup>1</sup>, Л.А. Воронина<sup>1</sup>,  
Е.А. Брусенко<sup>2</sup>, Н.И. Белая<sup>1</sup>*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ WEB-ТЕХНОЛОГИЯ ВЫДАЧИ РАНЖИРОВАННЫХ РЯДОВ ЭКСТРЕМАЛЬНО ТЕПЛЫХ (ХОЛОДНЫХ) И ВЛАЖНЫХ (СУХИХ) ЛЕТ ПО СТАНЦИЯМ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО УГМС**

*<sup>1</sup>Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Новосибирск;*

*<sup>2</sup>Гидрометцентр Западно-Сибирского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Новосибирск*

### **Введение**

В соответствии с реализацией направления Плана НИР Росгидромета на 2017–2019 гг. «Исследования климата, его изменений и их последствий. Оценка гидрометеорологического режима и климатических ресурсов» Сибирский научно-исследовательский гидрометеорологический институт (СибНИГМИ) принимал участие в выполнении темы НИР 1.3.4.3. «Создание электронных климатических справочников для специализированного адресного обслуживания пользователей на региональных и отраслевых уровнях с использованием информационных технологий на базе СУБД-, ГИС-, Web-технологий».

С внедрением в современную жизнь Интернета, расширением возможностей получения необходимой информации через Интернет, в том числе и климатической, институтом были выбраны Web-технологии для создания и представления специализированной климатической информации для адресного обслуживания пользователей. Работа над созданием автоматизированных Web-технологий была начата при выполнении тем НИР более ранних Планов НИОКР Росгидромета. Ранее автоматизированные технологии уже были внедрены в оперативную работу УГМС и помогают специалистам без особых трудозатрат подготавливать, анализировать и предоставлять потребителям климатическую информацию.

## **Создание автоматизированной Web-технологии выдачи ранжированных рядов экстремально теплых (холодных) и сухих (влажных) лет**

Разработка автоматизированной Web-технологии ранжированных рядов метеоэлементов в соответствии с заявкой Гидрометцентра ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» была начата в 2016 году в рамках выполнения темы 1.3.4.4 и продолжена при выполнении темы 1.3.4.3. Планов НИОКР Росгидромета на 2014–2016 и 2017–2019 гг. раздела 1.3.4. «Развитие системы климатического обслуживания в Российской Федерации и в различных секторах экономики».

Климатологи Гидрометцентра в 2016–2017 гг. за весь ряд наблюдений по 75 станциям Западно-Сибирского УГМС сформировали архив данных экстремумов температуры воздуха с выделением пяти наиболее теплых (холодных) лет, в 2017 году – архив экстремумов сумм осадков с выделением пяти наиболее сухих (влажных) лет в декадном и месячном разрешении.

На основании архивных данных была создана автоматизированная база ранжированных рядов среднедекадных и среднемесячных значений температуры воздуха и сумм осадков за многолетний ряд наблюдения по станциям Западно-Сибирского УГМС с выделением пяти наиболее теплых (холодных) и сухих (влажных) лет. Автоматизированная Web-технология позволяет осуществить выборку из телеграмм, поступающих по каналам АСПД в коде КН-19 ДЕКАДА и КЛИМАТ, средней температуры воздуха, количества осадков, сравнивать полученные значения с автоматизированной базой ранжированных рядов экстремально теплых (холодных) и сухих (влажных) лет по каждой метеостанции, а также определять место в ранжированном ряду экстремально теплых (холодных) или сухих (влажных) лет.

Автоматизированная технология формирования ранжированных рядов благодаря простому и удобному Web-интерфейсу позволяет любому пользователю через интернет-ресурс (<http://climate.sibnigmi.ru/allcli>, код доступа – guest, пароль – 123) просматривать таблицы с данными, поступившими в коде КН-19 ДЕКАДА и КЛИМАТ, и выявить первые пять мест в ранжированном ряду самых теплых (холодных) и самых влажных (сухих) лет по выбранной станции. Просмотр таблицы с обновленными данными в декадном и месячном разрешении возможен одновременно по 75 станциям территории ответственности Западно-Сибирского УГМС, отдельно по станциям Кемеровской, Новосибирской, Томской областей, Алтайского края и Республики Алтай и отдельно по выбранной станции.

Функционально интерфейс разделен на две области (рис. 1):

- панель инструментов выборки (1 – 7);
- результат выборки (8 – 9).

Территория: Все субъекты **1**

Станция: **2**

Параметр: **3**

- Средняя температура
- Осадки

Год: 2018 **4**

Месяц: Май **5**

Период: 2 дек. **6**

**Отобразить** **7**

### Ряды климатических значений **8**

Все субъекты: Средняя температура

Индекс	Пункт	Дата	Знач-е	Место	
29625	ЧУЛЫМ	2 дек. Май	5.1	2	<a href="#">Подробнее</a>
29716	ДОВОЛЬНОЕ	2 дек. Май	5.6	2	<a href="#">Подробнее</a>
29745	БЕЛОВО	2 дек. Май	6.3	2	<a href="#">Подробнее</a>
29822	КАМЕНЬ-НА-ОБИ	2 дек. Май	6.4	2	<a href="#">Подробнее</a>
29915	СЛАВГОРОД	2 дек. Май	7.4	2	<a href="#">Подробнее</a>
36024	КУЛУНДА	2 дек. Май	7.8	2	<a href="#">Подробнее</a>
29313	ПУДИНО	2 дек. Май	2.7	3	<a href="#">Подробнее</a>
29508	ВЕНГЕРОВО	2 дек. Май	5.4	3	<a href="#">Подробнее</a>
29524	КРЕЩЕНКА	2 дек. Май	4.3	3	<a href="#">Подробнее</a>
29626	КОЧЕНЕВО	2 дек. Май	5.4	3	<a href="#">Подробнее</a>
29708	БАГАН	2 дек. Май	6.5	3	<a href="#">Подробнее</a>

**Рис. 1. Вид интерфейса автоматизированной технологии формирования рядов значений.**

**1.** «Территория» – ограничение выборки метеорологических станций.

При значении «Все субъекты» выборка будет производиться для всех станций Западно-Сибирского УГМС, содержащихся в базе данных. При введении какой-либо территории, например Новосибирской области, появятся только станции Новосибирской области.

**2.** «Станция» – ограничение выборки названием станции. При заполнении поля формы «Станция», будут выбраны данные только для тех станций, название которых внесены полностью или содержат заданное сочетание букв.

**3.** «Параметр» – определяет, для какого метеорологического элемента будет производиться выборка: из базы данных средних значений температуры воздуха или количества осадков.

**4 и 5.** «Год», «Месяц» – ограничение выборки по году и месяцу.

**6.** «Период» – определяет, за какой период требуется выборка усредненных данных: за месяц, 1, 2 или 3 декаду.

**7.** «Отобразить». При выборе параметра «Отобразить» программа применяет все ограничения по выборке (**1 – 6**) и генерирует запрошенные данные в таблицу **8**.

8. Таблица позволяет просмотреть оперативные данные температуры воздуха (количества осадков) за выбранный период, она содержит:

- индекс станции;
- название станции;
- номер декады и месяц выборки;
- значение температуры воздуха для выбранного периода (из КН-19 ДЕКАДА и КЛИМАТ);
- место в ряду ранжирования, если значение утверждено и обновлено в базе данных ранжирования.

Цветовая схема выделения выборки включает четыре цвета и два состояния насыщенности цвета. При формировании списка в таблице с оперативными данными климатических значений производится предварительный анализ вхождения значения в теплый или холодный ряд.

В случае вероятного вхождения строка подсвечивается **желтым** цветом – для теплых и сухих лет, **голубым** – для холодных и влажных лет:

- **насыщенный цвет** означает, что значение утверждено специалистом;
- **полупрозрачный цвет** означает, что значение еще не утверждено;
- **белый цвет** означает, что данное значение метеорологического элемента не входит в пятерку ранжированных рекордов;
- **зеленый цвет** означает повторение одного из значений метеорологического элемента в пятерке самых теплых (холодных) и самых сухих (влажных) лет.

После принятия значения в режиме редактора в таблице появляется ранг (место) от 1 до 5 в ранжированном ряду теплых (холодных) лет.

На рис. 2 приведен пример таблицы с выделением ранжирования по температуре воздуха за 1 декаду августа 2018 года. По ряду станций Томской, Кемеровской и Новосибирской областей отмечалась экстремально низкая температура воздуха в 1 декаде августа.

При нажатии кнопки «Подробно» для соответствующей станции и периода появляется панель с подробной информацией с приведением теплого и холодного ранжированных рядов (пять мест). В случае попадания текущего значения в один из рядов строка выделяется соответствующим цветом, значение и год выделяются жирным шрифтом.

Примеры таблиц базы данных ранжирования температуры воздуха приведены на рис. 3 и 4.

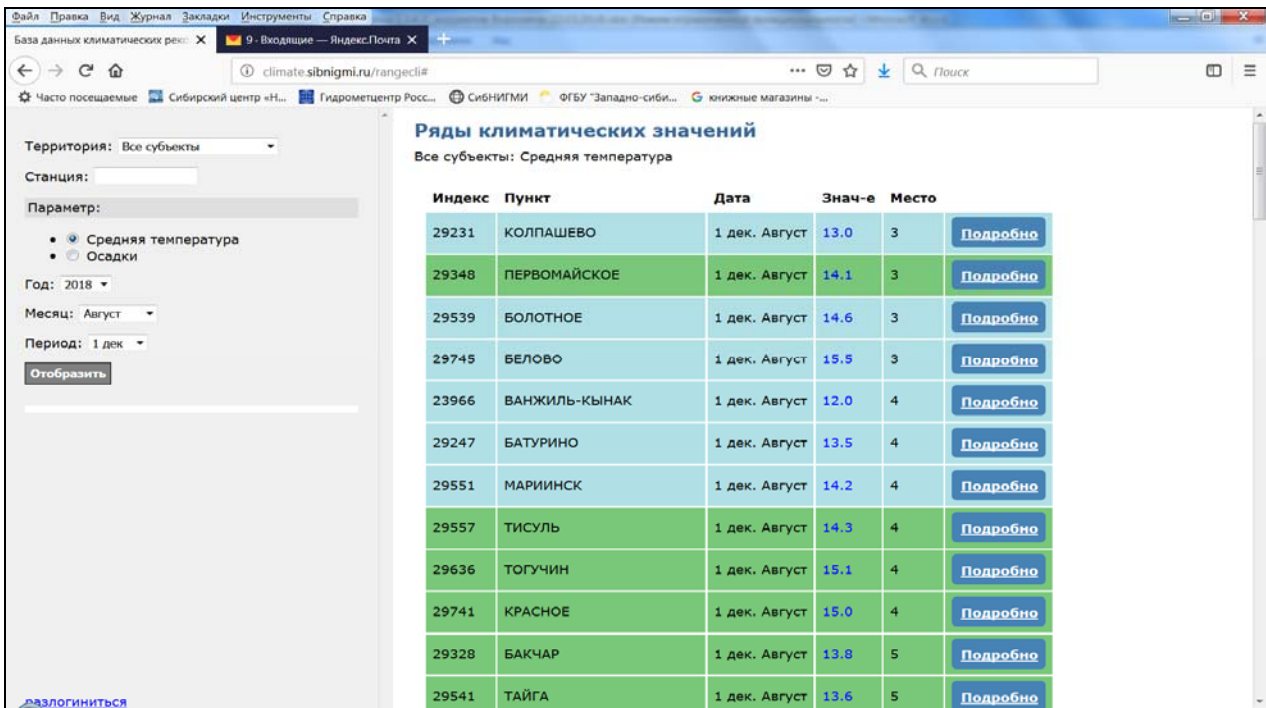


Рис. 2. Пример выборки средней температуры воздуха за 1 декаду августа 2018 г. автоматизированной технологией.

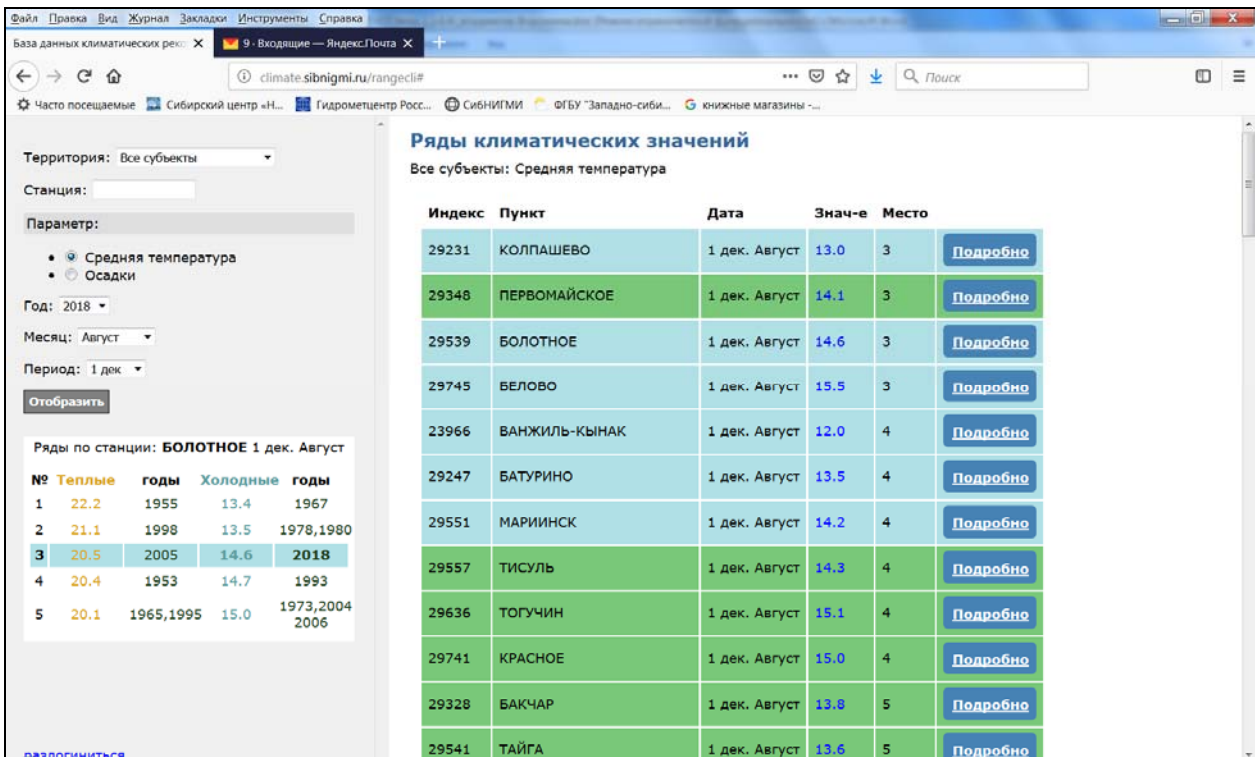


Рис. 3. Ряды ранжирования климатических значений средней температуры воздуха по станции Болотное в 1 декаде августа 2018 г. Указано место (3) в ряду ранжирования среди холодных лет за весь ряд наблюдений.

В большинстве месяцев 2018 г. наблюдалась аномально холодная погода. Поэтому чаще всего этот год был среди ранжированного ряда холодных лет. В таблице на рис. 3 приведен пример по данным станции Болотное (Новосибирская область). При нажатии кнопки «Подробнее» появляется ранжированный ряд, в котором видно, что 1 декада августа по станции Болотная по температуре воздуха оказалась на третьем месте среди холодных лет в ряду ранжирования.

На рис. 4 приведены данные таблицы с выборкой оперативных значений температуры воздуха за 3 декаду июня 2018 г. Она оказалась наиболее теплой по ряду станций Кемеровской области и Республики Алтай. В таблице на рис. 4 приведен пример по данным станции Белово (Кемеровской области) экстремально теплой 3 декады июня после нажатия кнопки «Подробнее». В ранжированном ряду среди теплых лет по температуре воздуха 3 декада июня 2018 г. заняла первое место.

**Ряды климатических значений**  
Все субъекты: Средняя температура

Индекс	Пункт	Дата	Знач-е	Место	
29654	ЦЕНТРАЛЬНЫЙ РУДНИК	3 дек. Июнь	21.4	1	<a href="#">Подробнее</a>
29745	БЕЛОВО	3 дек. Июнь	22.4	1	<a href="#">Подробнее</a>
29849	КУЗЕДЕЕВО	3 дек. Июнь	22.0	1	<a href="#">Подробнее</a>
29955	УСТЬ-КАВЫРЗА	3 дек. Июнь	20.9	1	<a href="#">Подробнее</a>
36058	ЧЕМАЛ	3 дек. Июнь	21.8	1	<a href="#">Подробнее</a>
36061	ТУРОЧАК	3 дек. Июнь	21.7	1	<a href="#">Подробнее</a>
29551	МАРИНСК	3 дек. Июнь	23.1	2	<a href="#">Подробнее</a>
29557	ТИСУЛЬ	3 дек. Июнь	22.5	2	<a href="#">Подробнее</a>
29749	КИСЕЛЕВСК	3 дек. Июнь	23.0	2	<a href="#">Подробнее</a>
36055	КЫЗЫЛ-ОЗЕК	3 дек. Июнь	21.1	2	<a href="#">Подробнее</a>
29154	УСТЬ-ОЗЕРНОЕ	3 дек. Июнь	22.6	3	<a href="#">Подробнее</a>
29848	ТОГУЛ	3 дек. Июнь	22.4	3	<a href="#">Подробнее</a>

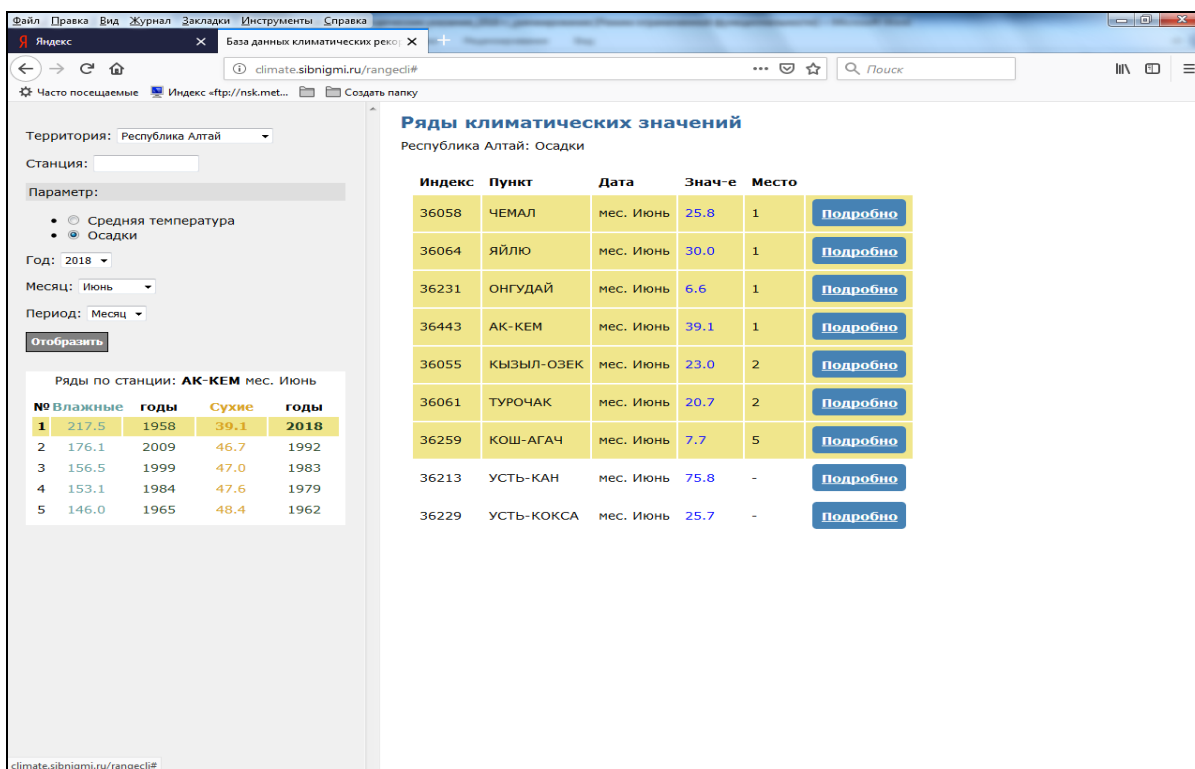
  

Ряды по станции: **БЕЛОВО** 3 дек. Июнь

№	Теплые	годы	Холодные	годы
1	22.4	2018	12.9	1988
2	22.2	2006	13.5	2009
3	21.9	2014	14.1	1998
4	21.4	1994	14.2	1991
5	21.3	2012	14.9	1987

**Рис. 4. Ряды ранжирования средней температуры воздуха 3 декады июня 2018 г. по станции Белово.**

На рис. 5 приведены данные таблицы с выборкой оперативных значений количества осадков по Республике Алтай за июнь 2018 г. После нажатия кнопки «Подробнее» по станции Ак-Кем появляется 5-летний ранжированный ряд по осадкам. Количество осадков 39,1 мм, выпавшее за июнь 2018 г. на станции Ак-Кем, является минимальным значением за весь ряд наблюдения по этой станции в июне и занимает первое место в ранжированном ряду.



**Рис. 5. Пример ранжированного ряда количества осадков за июнь 2018 г. по станции Ак-Кем Республики Алтай.**

### **Результаты испытания автоматизированной Web-технологии с оценкой степени достоверности данных, поступающих в коде КН-19 ДЕКАДА и КЛИМАТ**

В соответствии с Планами испытания и внедрения новых и усовершенствованных технологий (методов) гидрометеорологических прогнозов Росгидромета на 2017 и 2018 гг. специалистами отдела климата Гидрометцентра Западно-Сибирского УГМС и СибНИГМИ была проведена в оперативном режиме апробация автоматизированной Web-технологии обработки информационного потока для формирования ранжированного ряда экстремально теплых (холодных), а также сухих (влажных) лет.

При проведении испытаний использовались оперативные данные температуры воздуха и суммарное количество осадков в декадном и месячном разрешении за период январь – декабрь 2017 г. и январь – сентябрь 2018 г., поступающие в коде КН-19 ДЕКАДА и КЛИМАТ по метеостанциям Западно-Сибирского УГМС (Новосибирская область – 31, Томская область – 13, Алтайский край – 12, Кемеровская область – 11, Республика Алтай – 8 станций). В коде КН-19 ДЕКАДА поступают данные 70 метеостанций, в коде КЛИМАТ – 75 метеостанций.

В период испытаний проводилась сверка данных декадных и месячных значений температуры воздуха и количества осадков, отображенных автоматизированной технологией из телеграмм кода КН-19 ДЕКАДА и КЛИМАТ, с режимными данными. В случае выявления недостоверных оперативных данных температуры воздуха осуществлять их корректировку имеют возможность только специалисты отдела климата Гидрометцентра Западно-Сибирского УГМС по своим коду доступа и паролю.

В процессе испытания в 2017 г. специалисты отдела климата Гидрометцентра Западно-Сибирского УГМС столкнулись с тем, что автоматизированная технология в некоторых случаях отображала недостоверные оперативные данные температуры воздуха за декаду и месяц. Возможно, это было связано с техническим сбоем или с ошибкой при вводе наблюдаемых данных вручную на станции.

В 2018 г. была продолжена проверка достоверности выборки данных ранжирования автоматизированной Web-технологией по оперативным данным из телеграмм кода КН-19 ДЕКАДА и КЛИМАТ в сравнении с проверенными режимными экстремальными декадными и месячными значениями температур воздуха.

Авторами созданной Web-технологии были учтены замечания по случаям некорректной обработки данных, добавлены условия проверки поступающей информации. Осуществлялась отладка автоматизированной Web-технологии. Результаты сверки оперативных значений средней температуры воздуха, поступившие в коде КН-19 ДЕКАДА и КЛИМАТ, с режимными данными показали в 2018 г. практически 100%-ное совпадение (табл. 1).

Погодные условия в Западной Сибири по температурному режиму в отдельные периоды 2017 и 2018 гг. нередко были экстремальными. Довольно часто были достигнуты или перекрыты значения экстремумов средних температур воздуха в ранжированных рядах по многолетним данным.

В табл. 2 указывается количество станций, вошедших в ранжированные ряды экстремально теплых и холодных лет за период январь 2017 г. – сентябрь 2018 г. Общее количество станций, попавших в ранжированные ряды экстремально теплых лет (500), более чем в два раза превышает общее количество станций экстремально холодных лет (278). Наибольшее число станций, попавших в ранжированные ряды аномально теплых лет, приходится на 2017 г. (табл. 3), а аномально холодных – на 2018 год (табл. 4).

В табл. 3 приведено количество станций, вошедших в выборку ранжированного ряда экстремально теплых и холодных лет в 2017 г. Наибольшее количество станций (более 50 %), вошедших в ранжированный ряд экстремально теплых лет, отмечено в 3 декаде февраля (68 станций), 2 декаде июня (40 станций), 1 декаде ноября (38 станций).

Таблица 1

**Количество станций (%) Западно-Сибирского УГМС, правильно отобранных в 2018 г. автоматизированной технологией в выборку ранжированного ряда экстремально теплых и холодных лет по месяцам**

Месяц	Температура воздуха	
	Теплые годы	Холодные годы
I	–	100
II	100	–
III	100	–
IV	100	–
V	–	99
VI	100	–
VII	100	100
VIII	100	100
IX	100	100
I–IX	100	100

Таблица 2

**Количество станций Западно-Сибирского УГМС, вошедших в выборку ранжированного ряда теплых и холодных лет**

Месяц	Теплые годы				Холодные годы			
	1 декада	2 декада	3 декада	месяц	1 декада	2 декада	3 декада	месяц
I	31	0	0	4	0	0	26	4
II	0	0	69	0	0	0	0	0
III	14	5	12	12	0	0	0	0
IV	0	6	15	2	0	0	0	0
V	0	1	6	2	7	33	11	59
VI	0	46	52	48	0	0	0	0
VII	0	1	1	0	0	8	24	1
VIII	18	1	34	8	12	21	0	0
IX	0	1	64	1	1	3	58	0
X	0	0	0	0	0	0	0	0
XI	38	0	0	0	0	0	0	0
XII	0	0	5	2	0	1	0	0
01.2017 – 09.2018	500				278			

В 2018 г. (табл. 4) наибольшее количество станций, вошедших в 5-летний ранжированный ряд экстремально теплых лет, отмечено в 3 декаде июня (28 станций), месяце июне (27 станций), 3 декаде сентября (64 станции), 1 декаде октября (44 станции) и месяце октябре (33 станции). Наибольшее количество станций, вошедших в ранжированный 5-летний ряд экстремально холодных лет 2017 г. (табл. 3), отмечено во 2 декаде августа (21 станция) и 3 декаде сентября (58 станций). Наиболее холодными по температурному

режиму с большим количеством станций, вошедших в пятерку ранжированных рядов наиболее холодных лет, оказались 3 декада января (26 станций), 2 декада мая (36 станций), месяц май (59 станций) и 3 декада июля (24 станции), наиболее теплыми оказались 3 декада июня (28 станций) и месяц июнь (27 станций), а также 3 декада сентября (64 станции).

Таблица 3

**Количество станций Западно-Сибирского УГМС, вошедших в выборку ранжированного ряда экстремально теплых и холодных лет по декадам и месяцу в 2017 г.**

Месяц	Теплые годы				Холодные годы			
	1 декада	2 декада	3 декада	месяц	1 декада	2 декада	3 декада	месяц
1	31	0	0	4	0	0	0	0
2	0	0	68	0	0	0	0	0
3	13	2	8	9	0	0	0	0
4	0	6	14	2	0	0	0	0
5	0	1	6	2	0	0	0	0
6	0	40	24	21	0	0	0	0
7	1	0	1	0	0	8	0	0
8	18	0	30	2	0	21	0	0
9	0	1	0	0	0	0	58	0
10	0	0	0	0	9	0	0	0
11	38	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	5	2	0	1	0	0
Год	349				97			

52

Таблица 4

**Количество станций Западно-Сибирского УГМС, вошедших в выборку ранжированного ряда экстремально теплых и холодных лет по декадам и месяцу в 2018 г.**

Месяц	Теплые годы				Холодные годы			
	1 декада	2 декада	3 декада	месяц	1 декада	2 декада	3 декада	месяц
I	0	0	0	0	0	0	<b>26</b>	4
II	0	0	1	0	0	0	0	0
III	1	3	4	3	0	0	0	0
IV	0	0	1	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	7	<b>33</b>	11	<b>59</b>
VI	0	6	<b>28</b>	<b>27</b>	0	0	0	0
VII	0	1	0	0	0	0	<b>24</b>	1
VIII	0	1	4	6	12	0	0	0
IX	0	0	<b>64</b>	1	1	3	0	0
I - IX	151				181			

По температурному режиму 2017 г. был теплее 2018 г. по большей части территории ответственности Западно-Сибирского УГМС.

Апробация автоматизированной Web-технологии обработки информационного потока для формирования ранжированного ряда экстремально сухих (влажных) лет проходила в оперативном режиме в период с января по сентябрь 2018 г. Достоверность выборки сумм осадков автоматизированной Web-технологией была проверена путем сравнения данных ранжирования автоматизированной технологией по оперативным телеграммам кода КН-19 ДЕКАДА и КЛИМАТ, с режимными данными.

Результаты достоверности (%) выбора автоматизированной технологией ранга в экстремально влажных (сухих) рядах приведены в табл. 5.

Таблица 5

**Количество станций (%) Западно-Сибирского УГМС, верно отобранных технологией при формировании ранжированного ряда экстремально влажных и сухих лет по месяцам в 2018 г.**

Месяц	Осадки	
	Влажные годы	Сухие годы
I	100	57
II	–	67
III	100	56
IV	100	75
V	99	100
VI	95	100
VII	100	93
VIII	95	94
IX	100	89
I–IX	99	81

В среднем за период испытаний по сумме осадков данные 99 % станций выборки ранжированного ряда влажных лет и данные 81 % выборки ранжированного ряда сухих лет автоматизированной Web-технологией совпали с данными ранжированных рядов режимной информации. Довольно большой процент несовпадения выбранных ранжированных рядов сухих лет (в среднем 81 %), видимо, связан с тем, что количество осадков в телеграммах округлено до целых чисел, а в режимных данных они представлены с десятыми. Особенно это чаще наблюдается для сумм осадков менее 1 мм. Чтобы охватить все суммы осадков менее 1 мм, которые кодируются в телеграммах с округлением, в автоматизированной Web-технологии ставится пороговое значение 0,9. Соответственно, автоматизированная

технология определяет место в ранжированном ряду для сумм осадков менее 1 мм не всегда корректно. Кроме этого наблюдались ошибки в телеграммах при кодировании на станциях.

Количество выпавших осадков с января по сентябрь 2018 г. в отдельные декады и месяцы было как экстремально высокое, так и экстремально низкое (табл. 6). Большое количество станций, попавших в ранжирование наиболее влажных лет, было отмечено в марте: 3 декада (38 станций) и месяц (22 станции), а также в мае: 1 декада (38 станций) и месяц (37 станций). С дефицитом осадков, когда большое число станций вошло в ранжированные ряды сухих лет, оказались: 1 и 3 декада января (26 и 38 станций соответственно), 1 декада февраля (31 станция), 2 декада июля (30 станций), 1 декада августа (19 станций).

Таблица 6

**Количество станций Западно-Сибирского УГМС, вошедших в выборку ранжированного ряда экстремально влажных и сухих лет по декадам и месяцу в 2018 г.**

Месяц	Влажные годы				Сухие годы			
	1 декада	2 декада	3 декада	месяц	1 декада	2 декада	3 декада	месяц
I	0	21	0	0	<b>26</b>	1	<b>38</b>	4
II	0	0	0	0	<b>31</b>	5	6	13
III	4	5	<b>38</b>	22	0	8	1	0
IV	0	5	18	17	2	8	4	2
V	<b>38</b>	7	19	<b>37</b>	2	0	0	0
VI	1	13	10	13	5	5	0	8
VII	0	3	7	1	5	<b>30</b>	0	5
VIII	0	9	19	9	<b>19</b>	1	3	9
IX	12	0	1	1	2	5	1	1
I-IX	330				250			

Решением секции Технического совета УГМС, после рассмотрения отчетов по испытанию автоматизированных Web-технологий (темы НИР 1.3.4.4. и 1.3.4.3.), было отмечено, что к достоинствам автоматизированной Web-технологии обработки информационного потока формирования рядов среднемесячных (среднедекадных) значений температуры воздуха и месячных (декадных) сумм осадков из телеграмм кода КН-19 ДЕКАДА и КЛИМАТ и выдачи ранжированных рядов экстремально теплых (холодных) и влажных (сухих) лет следует отнести:

– доступность работы технологии обновления и выборки ранжированного ряда экстремально теплых (холодных) и влажных (сухих) лет по декадам и месяцу автоматизирована любому пользователю через интернет-ресурс;

– простоту и удобство в использовании Web-интерфейса автоматизированной технологии;

– возможность просмотра таблиц с многолетними ранжированными значениями и обновленными данными в декадном и месячном разрешении по каждой станции территории ответственности Западно-Сибирского УГМС и отдельно по территориям Кемеровской, Новосибирской, Томской областей, Алтайского края и Республики Алтай.

Полученную информацию о ранге (месте) метеорологического элемента в ранжированном ряду экстремальных лет пользователи могут использовать при специализированном и оперативном обслуживании потребителей, подготовке аналитических справок и обзоров о погодных и климатических условиях отдельных периодов и сезонов года по территории ответственности Западно-Сибирского УГМС.

По результатам испытания подготовлен и подписан Акт о внедрении в оперативную работу Гидрометцентра и ЦГМС – филиалов Западно-Сибирского УГМС автоматизированной технологии обработки информационного потока для формирования рядов среднемесячных (среднедекадных) значений температуры воздуха и месячных (декадных) сумм осадков.

Подготовлены Методические указания по использованию в оперативной работе подразделений Западно-Сибирского УГМС автоматизированной технологии выборки и выдачи ранжированных рядов экстремальных лет метеорологических элементов в декадном и месячном разрешении, поступающих в коде КН-19 ДЕКАДА и КЛИМАТ.

*Т.В. Старостина<sup>1</sup>, С.М. Кононенко<sup>1</sup>, Т.Ю. Гусарова<sup>2</sup>*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА УРОЖАЙНОСТИ КАРТОФЕЛЯ, МНОГОЛЕТНИХ И ОДНОЛЕТНИХ ТРАВ ПО ОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

*<sup>1</sup>Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Новосибирск;*

*<sup>2</sup>Гидрометцентр Обь-Иртышского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Омск*

Методы прогноза урожайности картофеля, многолетних трав на сено, однолетних трав на зеленую массу по Омской области разработаны в рамках выполнения темы 1.1.7.1 Плана НИОКР Росгидромета на 2014–2016 годы.

Испытание методов проводилось по трем прогностическим моделям для картофеля и по четырем моделям, позволяющим прогнозировать урожайность сена и зеленой массы однолетних и многолетних трав на сроки 1–2 июня и 1–2 июля. Агрометеорологические параметры выбирались из материалов наблюдений гидрометеорологических станций.

Кормовые травы, как и все сельскохозяйственные культуры, могут расти и развиваться только при наличии необходимого количества света, влаги и тепла. Наиболее существенную роль играют тепло и влага. Как избыток, так и недостаток каждого из этих факторов отрицательно сказывается на формировании урожаев. Умеренное тепло с достаточным количеством осадков способствует интенсивному росту сеяных многолетних и однолетних трав, но повышенный температурный режим угнетает растения и подчас может привести к полной гибели растительного покрова [1]. Исследования условий роста и развития сеяных многолетних трав по Омской области убедительно подтверждают это: условия зимнего периода при оптимальной высоте снежного покрова в меньшей степени влияют на повреждение многолетних трав, чем сухость и жара летнего периода.

Основными климатическими факторами роста и формирования урожая многолетних и однолетних трав является тепло- и влагообеспеченность вегетационного периода Омской области. Ввиду отсутствия биометрических показателей трав исследованы связи их областной урожайности с метеорологическими показателями влагообеспеченности осеннего периода

предшествующего года и тепло-влагообеспеченности весенне-летнего периода текущего года. Наиболее важным периодом в формировании урожайности трав является период их цветения (май-июнь). Для построения прогностических моделей были использованы параметры, достаточно хорошо описывающие агрометеорологические условия вегетационного периода. С большей достоверностью влагообеспеченность сельскохозяйственных культур характеризуют комплексные показатели увлажнения: показатель увлажнения по Н.В. Гулиновой, коэффициент увлажнения по Д.А. Бринкену и С.А. Сапожниковой, а также гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова [1–3].

Для выполнения расчетов был разработан пакет программ для персонального компьютера и материалы информационного обеспечения: программа расчета прогноза урожайности сена и зеленой массы многолетних и однолетних трав, картофеля по территории Омской области и программа оценки прогноза.

Авторские испытания методов прогноза урожайности проводились на независимом материале 2012–2014 гг. Производственные испытания метода осуществлялись в отделе агрометеорологических прогнозов Гидрометцентра ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» в 2015–2017 гг.

Оценка успешности методов прогноза урожайности многолетних и однолетних трав, картофеля по территории Омской области проводилась согласно Методическим указаниям [4]. Ввиду отсутствия разработанных методов прогноза урожайности, осуществлялась сравнительная оценка успешности испытываемых методов с инерционными и климатологическими прогнозами.

С целью получения более достоверных выводов об испытываемом методе были проанализированы результаты оправдываемости прогнозов за период 2012–2017 гг., включающие авторские и производственные испытания.

По результатам авторской проверки за период 2012–2014 гг. методические прогнозы урожайности зеленой массы однолетних, сена многолетних трав, картофеля по Омской области по всем моделям в течение трех лет обеспечили хороший результат – средняя оправдываемость 82,7–97,8 %.

Средняя оправдываемость (по величине относительной ошибки) предварительных методических прогнозов (на срок 1–2 июня, модели 1, 2) составила по многолетним травам на сено 89,2–94,3 %; по однолетним травам на зеленую массу (модели 1, 2) 82,7–88,4 %. На срок 1–2 июля (модели 1, 2) средняя оправдываемость методических прогнозов составила по многолетним травам на сено 93,3–97,8 %, по однолетним травам на зеленую массу (модели 1, 2) 86,0–89,2 %. Средняя оправдываемость прогностических моделей по картофелю составила 90,6–94,1 %.

Оценка оправдываемости составленных прогнозов, согласно [4], по величине допустимой погрешности ( $\Delta\sigma$ ) позволила выявить число оправдавшихся методических, инерционных и климатологических прогнозов. Анализ таблицы выявил явное преимущество нового метода. Так, за период авторских испытаний все методические прогнозы однолетних и многолетних трав оправдались. Оправдываемость методических прогнозов составила 100 %, инерционных и климатологических прогнозов – от 33 % до 66,7 %.

По результатам производственных испытаний (2015–2017 гг.) методические прогнозы урожайности картофеля, зеленой массы однолетних и сена многолетних трав по Омской области по всем моделям в течение трех лет обеспечили хороший результат. Оценка качества методических прогнозов урожайности картофеля, зеленой массы однолетних и сена многолетних трав по Омской области в годы производственных испытаний показала, что оправдываемость прогнозов урожайности многолетних трав на сено составила 90,8–93,4 %, однолетних трав на зеленую массу оказалась ниже – 76,6–85,6 % (что соответствует уровню качества агрометеорологических прогнозов), картофеля – от 87,2 % до 92,1 %.

Средняя оправдываемость методических прогнозов в годы оперативных испытаний выше оправдываемости инерционных и климатологических прогнозов (таблица).

Таблица

58

**Оправдываемость прогнозов урожайности однолетних и многолетних трав, картофеля по Омской области (по величине относительной ошибки)**

Культура		№ прогностической модели	Оправдываемость, %. методические прогнозы			Средняя оправдываемость, %	
			Авторские испытания 2012-2014	Производственные испытания 2015-2017	Средняя за период 2012-2017	Инерционные	Климатологические
Многолетние травы на сено	предварительный прогноз, 1–2 июня	1	89,2	93,1	91,1	79,9	88,7
		2	94,3	90,8	92,6	79,9	88,7
	уточненный прогноз, 1–2 июля	1	97,8	92,7	95,3	79,9	88,7
		2	93,3	93,4	93,4	79,9	88,7
Однолетние травы на зеленую массу	предварительный прогноз, 1–2 июня	1	88,4	85,6	87,0	82,1	89,0
		2	82,7	83,8	83,3	82,1	89,0
	уточненный прогноз, 1–2 июля	1	89,2	76,6	82,9	82,1	89,0
		2	86,0	82,2	84,1	82,1	89,0
Картофель		1	90,6	92,1	91,3	77,3	85,1
		2	93,3	91,7	92,5	77,3	85,1
		3	94,1	87,2	90,6	77,3	85,1

В среднем за весь период испытаний (2012–2017 гг.) оправдываемость методических прогнозов урожайности сена многолетних трав (на срок 1–2 июня) составила по модели 1 – 91,1 %, по модели 2 – 92,6 %. Успешность уточненных методических прогнозов (на срок 1–2 июля) составила по модели 1 – 95,3 %, по модели 2 – 93,4 % . Оправдываемость предварительных методических прогнозов урожайности зеленой массы однолетних трав составила по модели 1 – 87,0 %, по модели 2 – 83,3 %, уточненных прогнозов – 82,9–84,1 %, по картофелю – от 90,6 % до 92,5 % (таблица).

Оценка оправдываемости составленных прогнозов по величине допустимой погрешности ( $\Delta\sigma$ ), согласно [4], позволила выявить преимущество нового метода. Так, за период испытаний по многолетним травам на сено из шести составленных прогнозов, как в первый, так и второй срок, по модели 1 и 2 оправдалось 6 прогнозов. Оправдываемость метода по всем моделям составила 100 %, что превышает оправдываемость инерционных и климатологических прогнозов. По однолетним травам оправдываемость от 83,3 % до 100 %. За период авторских и производственных испытаний по картофелю из 6 составленных прогнозов оправдались по модели 1 и 2 – 4 прогноза, по модели 3 – 5 прогнозов, оправдываемость составила от 66,7 % до 83,3 %, что на 16,7–33,3 % выше инерционных прогнозов, по модели 3 – на 16,6 % выше климатологических прогнозов.

Исходя из вышеизложенного, методы прогноза урожайности многолетних трав на сено, однолетних трав на зеленую массу и картофеля по Омской области рекомендованы Техническим советом ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» от 02.11.2018 г. и решением ЦМКП Росгидромета от 21.11.2018 г. в оперативную практику Гидрометцентра ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» в качестве основных расчетных методов на сроки 1–2 июня и 1–2 июля для многолетних трав на сено: для предварительного прогноза – модель 2, для уточненного прогноза – модель 1; для однолетних трав на зеленую массу: для предварительного прогноза модель 1, для уточненного прогноза – модель 2; для картофеля – модели 1 и 2.

### Список литературы

1. Гулинова Н.В. Погода и урожай сеяных и луговых трав. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 176 с.
2. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – 1928. – Вып. 20. – С. 169–178.
3. Старостина Т.В. Влияние агрометеорологических условий на формирование зеленой массы и семян многолетних сеяных трав в Свердловской, Челябинской и Курганской областях // Труды ЗапСибНИГМИ. – 1990. – Вып. 91. – С. 69–75.
4. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 150 с.

*Т.В. Стародворская, Е.Д. Сиеккинен*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА ОБЪЕМА ГОДОВОГО ПРИТОКА В ВОДОХРАНИЛИЩА МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды, г. Мурманск*

Методика прогноза объема годового притока в водохранилища Мурманской области (автор – Т.В. Стародворская) разработана в Гидрометцентре ФГБУ «Мурманское УГМС» в 2017 году.

Производственные испытания данной методики проводились в 2016 и 2017 гг. Ниже представлены результаты авторских и производственных испытаний методики.

Для построения прогностических зависимостей были использованы данные за октябрь – декабрь предшествующего года: среднемесячное давление над Алеутскими островами в точке 50° с. ш., 170° з. д.; среднемесячное давление над Северным полюсом в точке 90° с. ш.; среднемесячное давление над Исландией в точке 65° с. ш., 20° з. д.; индексы атмосферной циркуляции (индексы Арктической осцилляции и Северо-Атлантической осцилляции); суммарная аномалия среднемесячного приземного давления в характерных районах за предшествующий год. Длина ряда составила 65 лет (1951–2015 гг.).

В таблице приведены результаты авторских и производственных испытаний.

Кср – среднее из значений среднегодового притока воды в водохранилища Верхнетуломское, Нижнетуломское, Имандра, Кумское, Иовское, Князегубское, Серебрянское, выраженное в модульных коэффициентах (использованы нормы ГГИ, принятые в Гидрометцентре России 25.04.2004 г.).

Оправдываемость прогнозов на архивном материале за период 1951–2015 гг. по разработанной методике равна 74 %, отношение  $S/\delta = 0,62$ .

Испытания методики на независимом материале (не входящем в разработку методики) проводилось за 2016 и 2017 гг. Оправдываемость прогнозов  $K_{ср}$  на независимом материале равна 100 % с оценкой «хорошо». Оправдываемость прогнозов годового притока воды в водохранилища по перекидным зависимостям за 2016 и 2017 гг. равна 83 %.

Оправдываемость прогнозов на архивном материале по методике «Годовой сток р. Тулома и возможность его прогнозирования» (1964 г.) равна 68 %, отношение  $S/\delta > 1,0$ . Оправдываемость прогнозов  $K_{ср}$  на независимом материале равна 50 % с оценкой «удовлетворительно». Оправдываемость прогнозов годового притока воды в водохранилища за 2016 и 2017 гг. равна 50 %.

Таблица

**Проверочные прогнозы объема годового притока воды в водохранилища  
Мурманской области ( $\delta_{доп} = 0,11$ )**

Год	$K_{ср.факт}$	$K_{ср.пр}$	$\Delta = K_{ср.факт} - K_{ср.пр}$	$\Delta/\delta_{доп}$	Оценка
<b>Авторские испытания</b>					
1951	0,94	0,945	-0,005	0,05	отл.
1952	1,09	0,995	0,095	-0,86	уд.
1953	1,1	1,125	-0,025	0,23	отл.
1954	1,13	0,935	0,195	-1,77	не оправдался
1955	1,16	1,08	0,08	-0,73	уд.
1956	0,79	0,86	-0,07	0,64	уд.
1957	1,16	1,1	0,06	-0,55	хор.
1958	1,07	1,14	-0,07	0,64	уд.
1959	0,89	0,92	-0,03	0,27	отл.
1960	0,52	0,675	-0,155	1,41	не оправдался
1961	1,01	1,04	-0,03	0,27	отл.
1962	1,04	0,985	0,055	-0,50	хор.
1963	1,04	0,955	0,085	-0,77	уд.
1964	1,07	0,99	0,08	-0,73	уд.
1965	1,24	1,17	0,07	-0,64	уд.
1966	1,09	1,12	-0,03	0,27	отл.
1967	1,13	1,14	-0,01	0,09	отл.
1968	0,98	1,05	-0,07	0,64	уд.
1969	0,93	0,97	-0,04	0,36	хор.
1970	0,89	0,96	-0,07	0,64	уд.
1971	1,02	1,01	0,01	-0,09	отл.
1972	0,98	0,965	0,015	-0,14	отл.

Год	К <sub>ср.факт</sub>	К <sub>ср.пр</sub>	$\Delta = K_{ср.факт} - K_{ср.пр}$	$\Delta/\delta_{доп}$	Оценка
1973	0,84	0,965	-0,125	1,14	не оправдался
1974	1,2	1,125	0,075	-0,68	уд.
1975	1,14	1,075	0,065	-0,59	хор.
1976	0,79	0,93	-0,14	1,27	н/о
1977	1,14	1,055	0,085	-0,77	уд.
1978	0,94	1,065	-0,125	1,14	не оправдался
1979	1	1,09	-0,09	0,82	уд.
1980	0,76	0,905	-0,145	1,32	не оправдался
1981	1,25	1,115	0,135	-1,23	не оправдался
1982	1,23	1,095	0,135	-1,23	не оправдался
1983	1,08	0,955	0,125	-1,14	не оправдался
1984	1,15	1,05	0,1	-0,91	уд.
1985	0,88	0,95	-0,07	0,64	уд.
1986	0,96	0,97	-0,01	0,09	отл.
1987	0,97	0,98	-0,01	0,09	отл.
1988	0,92	1,07	-0,15	1,36	не оправдался
1989	1,27	1,14	0,13	-1,18	не оправдался
1990	0,86	0,97	-0,11	1,00	уд.
1991	1,01	0,97	0,04	-0,36	хор.
1992	1,32	1,165	0,155	-1,41	не оправдался
1993	1,1	1,03	0,07	-0,64	уд.
1994	0,86	0,885	-0,025	0,23	отл.
1996	1,19	1,12	0,07	-0,64	уд.
1997	1,05	1,005	0,045	-0,41	хор.
1998	1,31	1,085	0,225	-2,05	не оправдался
1999	1,09	1,045	0,045	-0,41	хор.
2000	1,28	1,105	0,175	-1,59	не оправдался
2001	0,77	0,75	0,02	-0,18	отл.
2002	0,85	0,93	-0,08	0,73	уд.
2003	0,84	1	-0,16	1,45	не оправдался
2004	1	1,085	-0,085	0,77	уд.
2005	0,98	1,095	-0,115	1,05	уд.
2006	0,91	1,07	-0,16	1,45	не оправдался
2007	1,08	1,03	0,05	-0,45	хор.
2008	1,1	1,02	0,08	-0,73	уд.
2009	0,98	0,94	0,04	-0,36	хор.
2010	1	1,03	-0,03	0,27	отл.
2011	0,96	0,87	0,09	-0,82	уд.
2012	1,08	1,135	-0,055	0,50	хор.

Год	К <sub>ср.факт</sub>	К <sub>ср.пр</sub>	$\Delta = K_{ср.факт} - K_{ср.пр}$	$\Delta/\delta_{доп}$	Оценка
2013	0,83	0,965	-0,135	1,23	не оправдался
2014	0,97	1	-0,03	0,27	отл.
2015	1,19	1,09	0,1	-0,91	уд.
<b>Производственные испытания</b>					
2016	1,13	1,08	0,05	0,45	хор.
2017	1,17	1,12	0,05	0,45	хор.

### Выводы

Полученные результаты соответствуют условиям применимости методики в оперативной практике согласно Наставлению [1].

Прогнозы объема годового притока воды по разработанной методике дают лучшие результаты в сравнении с методикой «Годовой сток р. Тулома и возможность его прогнозирования» 1964 года.

Технический совет ФГБУ «Мурманское УГМС» в своем решении от 28 декабря 2017 г. рекомендовал внедрить в оперативную практику Гидрометцентра ФГБУ «Мурманское УГМС» методику прогноза объема годового притока в водохранилища Мурманской области как основную методику. ЦМКП Росгидромета на заседании 14.03.2018 г. утвердила решение ФГБУ «Мурманское УГМС».

### Список литературы

1. Наставление по службе прогнозов, раздел 3, часть I. Служба гидрологических прогнозов. Прогнозы режима вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1962.

*Д.А. Бураков<sup>1</sup>, Н.П. Волковская<sup>2</sup>*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗА ЕЖЕДНЕВНЫХ И МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ НА СРЕДНЕЙ ОБИ И НИЖНЕМ ИРТЫШЕ**

*<sup>1</sup>Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск;*

*<sup>2</sup>Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды, г. Омск*

### **Введение**

В бассейнах Средней Оби и Нижнего Иртыша последние десятилетия интенсивно развивается промышленность по добыче и транспортировке нефтегазового сырья, увеличивая риски угрозы по загрязнению водосборов рек. В рамках выполнения темы 1.7.48 Плана НИР и ОКР Росгидромета в 2011–2013 гг. разработана автоматизированная технология прогноза ежедневных и максимальных уровней воды с заблаговременностью от одних до семи суток в весеннее половодье и летне-осенний период. Во время разработки и испытания технологии в 2012 г. получены данные о работе технологии при наименьшем за весь период наблюдений весеннем половодье. Затем в последующие годы технология испытана при весеннем половодье, близком к среднегодовым значениям, и в 2015 году при высоком половодье.

### **Краткое описание автоматизированной технологии прогноза уровней воды**

Автоматизированная технология прогноза основана на модели, состоящей из подмоделей, в блоках которых для высотных зон каждого района проводятся расчеты снегонакопления, снеготаяния, водоотдачи талой и дождевой воды, склонового притока и руслового добега. Модель использует как метеорологическую информацию, так и данные наблюдений за уровнями воды в речной системе, учитывая сложный характер водного режима Оби, Иртыша, обусловленный трансформацией различных типов режима тех природных зон, через которые они протекают. Запасы воды в руслах рассчитываются по

наблюдениям ежедневных уровней за срок измерений в 8 ч ВСВ. Влияние русловых запасов на прогнозируемый расход (уровень) возрастает вниз по течению реки. Автоматизированная технология обеспечивает сбор, накопление, обработку и формирование массива данных по гидрометеорологическим условиям и краткосрочным прогнозам уровней весеннего половодья на гидрологических створах рек Оби (Нижевартовск, Белогорье) и Иртыша (Ханты-Мансийск) с заблаговременностью 1–7 суток.

Прогноз основывается на использовании системы генетических уравнений, рассчитывающих параметры водного режима реки за отрезки времени, в течение которых суточное поступление воды на поверхность бассейна превышает суточное испарение и просачивание, образуя последовательные паводкообразующие периоды. Вычисление переменной в ходе снеготаяния площади снегового покрытия и водоудерживающей емкости снега производится по методике А.Г. Ковзеля, расчет водоотдачи бассейна производится по методу Е.Г. Попова [5].

Расчет выполняется для каждого района бассейна последовательно за каждые сутки. Интегральный слой воды, заполняющий водоудерживающую емкость, определяется с учетом отдачи воды снежным покровом, осадков, испарения и питания подземных вод, а также слоя начального заполнения водоудерживающей емкости (по связи его с характеристикой осеннего увлажнения бассейна). Подача воды на склоны в период дождя определяется путем арифметического осреднения суточного слоя осадков в пунктах наблюдений, тяготеющих к данному району (высотной зоне).

Подмодель склонового притока воды в русловую сеть основывается на концепции динамического (гравитационного) запаса воды на склонах. Движение воды в русловой сети рассчитывается по методике, основанной на использовании кривой добегания [1].

В обобщенном виде структура модели [1, 3] показана на рис. 1.

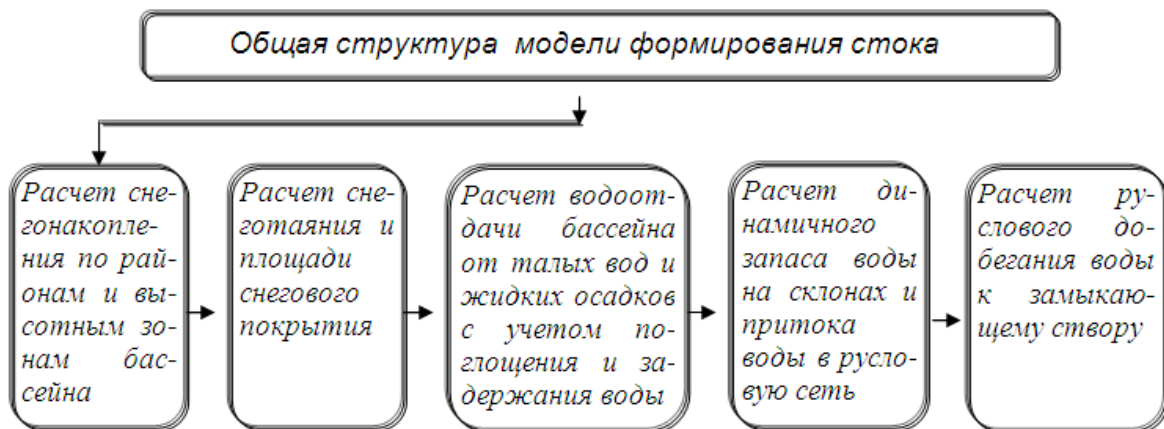


Рис. 1. Общая структура модели формирования стока [2, 3].

Процедура прогнозирования заключается в автоматическом внесении полной гидрометеорологической оперативной информации из центра сбора данных УГМС в программное обеспечение «Капля» [2] и предвычислении ожидаемого уровня воды в пункте, с учетом уровня воды в русле на вышерасположенном створе с учетом времени добегания.

### **Оценка погрешности, эффективности и оперативности выпуска прогнозов**

Оперативные испытания автоматизированной технологии прогноза ежедневных уровней воды на Средней Оби и Нижнем Иртыше проводились отделом гидрологических прогнозов Гидрометцентра ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» в период весеннего половодья в 2014–2017 гг. согласно Плану испытания новых и усовершенствованных технологий (методов) гидрометеорологических прогнозов Росгидромета.

Краткосрочные ежедневные прогнозы уровней воды составлялись в период с марта по август 2014–2017 гг. для гидрологических постов на Средней Оби у города Нижневартовск и деревни Белогорье, на Нижнем Иртыше у города Ханты-Мансийск. Было составлено 12096 прогнозов с заблаговременностью от 1 до 7 суток.

Оценка качества прогнозов проводилась согласно Наставлению по службе прогнозов [4]. За критерий качества прогностической методики принимается отношение среднеквадратичной ошибки прогноза  $\sigma_{\Delta}$  к среднеквадратичному отклонению уровня воды  $\sigma$ . Допустимая ошибка прогноза принимается равной  $0,674\sigma$ .

Эффективность гидролого-математической модели формирования речного стока для периода весеннего половодья в автоматизированной технологии прогноза ежедневных уровней воды на Средней и Нижней Оби с заблаговременностью 1–7 дней за 2014–2017 гг. составила  $S/\sigma = 0,33–0,61$ , что свидетельствует, что прогнозы качественные.

В табл. 1 представлены результаты оценки качества методики прогнозов за период производственных испытаний 2011–2016 гг. в отделе гидрологических прогнозов гидрометцентра ФГБУ «Обь-Иртышского УГМС» по данным зависимых наблюдений. В табл. 2 приведены допустимые ошибки прогнозов за тот же период.

Качество проверочных прогнозов по материалам наблюдений характеризуется как «удовлетворительное» и «хорошее» (табл. 1).

Оправдываемость прогнозов на независимом материале в 2017 году составила от 52 до 90 %. По приказу Росгидромета от 30.11.2010 г. удовлетворительными являются краткосрочные прогнозы уровней воды с оправдываемостью 80 % и более. В 2017 г. на 83–90 % оправдались прогнозы по Оби у Нижневартовска, это оценки «удовлетворительно» и «хорошо». Ниже в табл. 3 приведены сведения об оправдываемости прогнозов по пунктам

с различной заблаговременностью. Качество прогноза снизилось на реках Обь у с. Белогорье и Иртыш у г. Ханты-Мансийск, русла которых после прохождения высокого весеннего половодья 2015 г. показали неустойчивость слагающих их пород в 2016 и 2017 годах.

Таблица 1

**Характеристики точности прогнозов ежедневных уровней воды**

Пункт	$\Delta t = 1$	$\Delta t = 2$	$\Delta t = 3$	$\Delta t = 4$	$\Delta t = 5$	$\Delta t = 6$	$\Delta t = 7$
<b>Ханты-Мансийск</b>							
$S/\sigma_{\Delta}$	0,63	0,60	0,57	0,51	0,49	0,47	0,45
S	6	10	13	15	17	19	21
$\sigma_{\Delta}$	9	16	23	30	36	41	47
<b>Нижневартовск</b>							
$S/\sigma_{\Delta}$	0,43	0,37	0,36	0,37	0,32	0,31	0,31
S	3	5	7	10	10	13	15
$\sigma_{\Delta}$	7	14	21	28	34	41	48
<b>Белогорье</b>							
$S/\sigma_{\Delta}$	0,62	0,54	0,50	0,49	0,48	0,46	0,46
S	6	10	13	16	19	21	23
$\sigma_{\Delta}$	10	19	27	34	40	46	51

*Примечание.*  $S/\sigma_{\Delta}$  – критерий качества методики прогноза;  $\sigma_{\Delta}$  – среднее квадратичное отклонение уровня воды за период заблаговременности прогноза; S – средняя квадратичная ошибка прогноза.

Таблица 2

**Допустимые ошибки прогноза ежедневных уровней воды (см)**

Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7
р. Иртыш – г. Ханты-Мансийск	9	16	23	30	37	43	49
р. Обь – г. Нижневартовск	5	9	14	18	23	27	32
р. Обь – с. Белогорье	7	13	18	23	27	30	34

**Оправдываемость прогнозов ежедневных уровней воды на независимом  
материале в 2017 году**

Заблаговременность в днях	р. Иртыш – г. Ханты-Мансийск		р. Обь – г. Нижневартовск		р. Обь – д. Белогорье		Общее количество прогнозов
	Кол-во оправдавшихся прогнозов	Оправдываемость, %	Кол-во оправдавшихся прогнозов	Оправдываемость, %	Кол-во оправдавшихся прогнозов	Оправдываемость, %	
1	107	73	116	79	99	67	147
2	76	52	128	88	94	64	146
3	77	53	130	90	86	59	145
4	78	54	129	90	89	62	144
5	91	64	123	86	87	61	143
6	106	75	119	84	86	61	142
7	102	72	126	89	87	62	141

В модели заложена возможность самостоятельной коррекции отдельных параметров прогностических зависимостей, учитывающих происходящие в русле реки изменения, с учетом накопления оперативных данных. Так, после несложной процедуры оптимизации модели по накопленным с 2011 года материалам испытаний, оправдываемость прогноза 2017 г. улучшилась до 75–98 %. Перед началом нового сезона 2018 г. были уточнены параметры модели методом оптимизации с учетом гидрометеорологических данных 2017 года.

Расчет прогноза в программе происходит быстро по времени, так как обеспечено автоматическое поступление ежедневной оперативной информации из центра сбора данных УГМС. Вместо ручного внесения более сотни чисел оператор программы только проверяет правильность и полноту данных, дополняет информацию о расходах воды. Для упрощения процесса интеграции системы сбора и хранения данных УГМС и распределенной базы данных программы процедуры ввода данных были разделены на две части. В первой части процесса ввода данных, реализованной системными программистами УГМС, обеспечивается доступ, выбор и форматирование данных в два текстовых файла, предназначенных для чтения программой. Вторая часть реализована в самой программе «Речные гидрологические прогнозы» и ответственна за чтение этих двух файлов и ввод данных в саму базу бассейна. Это позволяет изолировать программу от любых изменений системы сбора и хранения

данных Росгидромета. Кроме того, такое разделение ввода данных позволило внести полный массив данных за предшествовавший испытаниям промежуток времени в общем виде через систему импорта данных.

Программа выполняет графический вывод данных об уровнях воды, который позволяет визуально оценить степень совпадения фактических и прогностических уровней воды за суточный, декадный и месячный интервалы, а также обнаружить ошибки ввода. На рис. 2 приведены графики, иллюстрирующие степень совпадения рассчитанных и фактических уровней воды за период производственных испытаний.

### Заключение

Автоматизированная технология прогноза учитывает практически всю доступную гидрометеорологическую информацию. Модель представлена технологической линией прогноза, предусматривающей возможность автоматизированной передачи данных в файлы прогностической программы.

Качество проверочных прогнозов по материалам наблюдений характеризуется как «хорошее» и «удовлетворительное», в зависимости от обеспеченности территории гидрометеорологической информацией.

Разработанная технология прогноза по пунктам рек Обь и Иртыш (Ханты-Мансийск) была внедрена в оперативную практику отдела гидрологических прогнозов Гидрометцентра ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» в ноябре 2018 года. Составление прогнозов осуществляется с 23 марта по 15 августа. Ежегодно, в преддверии нового сезона работы, производится уточнение параметров модели методом оптимизации для повышения точности прогноза.

### Список литературы

1. Бураков Д.А., Авдеева Ю.В. Технология оперативных прогнозов ежедневных расходов (уровней) воды на основе спутниковой информации о заснеженности (на примере р. Нижний Тунгуске) // Метеорология и гидрология. – 1996. – № 10. – С. 75–87.

2. Бураков Д.А., Гордеев И.Н., Ромасько В.Ю. Использование спутниковой информации для оценки динамики снегового покрытия в гидролого-математической модели стока весеннего половодья на примере бассейна Саяно-Шушенской ГЭС // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Том 7, № 2. – С. 113–121.

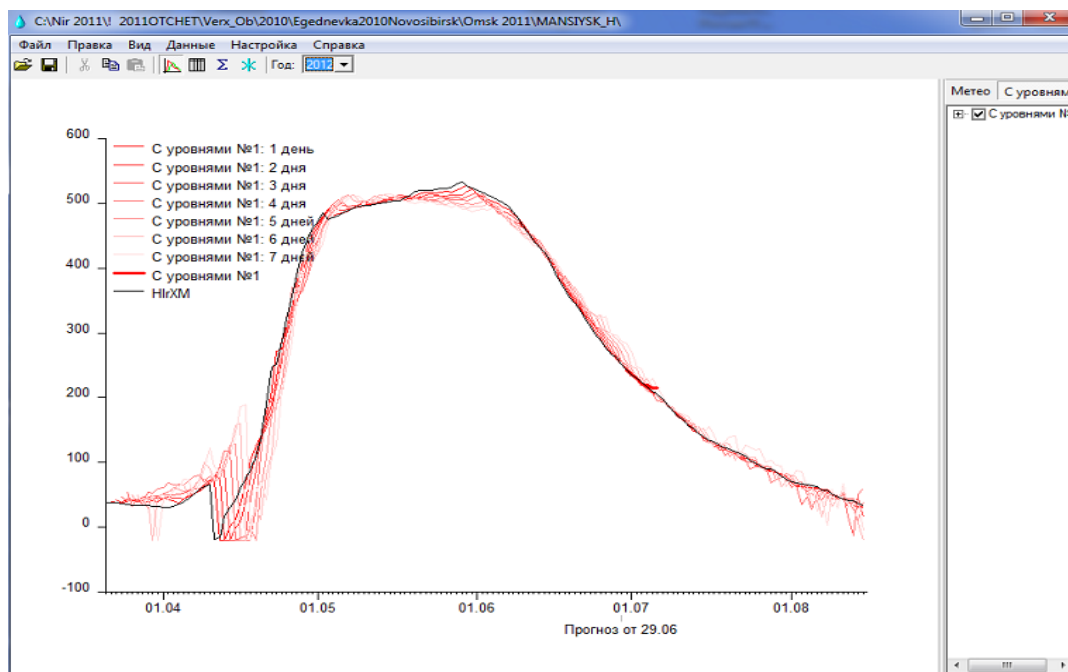
3. Бураков Д.А. Математическая модель расчета весеннего половодья для равнинных заболоченных бассейнов // Метеорология и гидрология. – 1978. – № 1. – С. 49–59.

4. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть 1. Прогнозы режима вод суши.

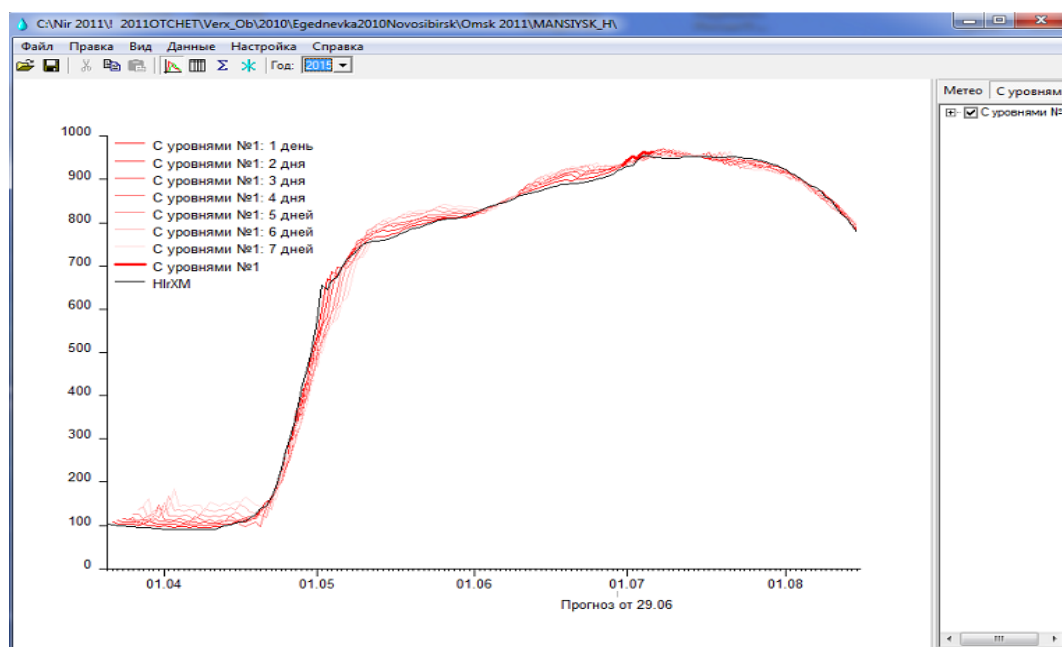
Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 193 с.

5. Попов Е.Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. – М.:

Гидрометеиздат, 1963. – 256 с.



а)



б)

Рис. 2. Окно вывода данных фактических и прогнозируемых уровней воды в р Иртыш у г. Ханты-Мансийск в виде графика: 2012 г (а), 2015 г. (б).

*Д.А. Бураков<sup>1</sup>, В.Ф. Космакова<sup>2</sup>,  
Н.П. Волковская<sup>3</sup>*

## **МЕТОДЫ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ НА РЕКЕ ИРТЫШ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ИСПЫТАНИЯ**

*<sup>1</sup>Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск;*

*<sup>2</sup>Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды, г. Красноярск;*

*<sup>3</sup>Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды, г. Омск*

### **Введение**

Река Иртыш протекает с юга на север, пересекает границы трех государств: Китая, Казахстана и России. В период с 1976 по 1994 г. на территории Казахстана строилась и введена в эксплуатацию Шульбинская гидроэлектростанция, последняя в каскаде Верхне-Иртышских. Прогноз максимальных уровней выполнялся по методикам, выпущенным в 50–60 гг. XX века, основанных на расчете максимального талого стока от величины снегонакопления в бассейне реки. В настоящее время накоплен продолжительный ряд гидрометеорологических данных при зарегулированном режиме стока. Разработанные методы долгосрочного прогноза максимальных уровней воды по пунктам Черлак и Омск учитывают сбросы ГЭС и особенности вскрытия Иртыша. Методы испытаны в рамках выполнения инициативной темы Плана испытания и внедрения новых и усовершенствованных методов (технологий) гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов Росгидромета 2018 г., части II, п.п. 6.3.

### **Условия формирования стока**

Река Иртыш является одной из крупнейших рек Азии. Бассейн реки расположен на территории трех стран. Площадь бассейна Иртыша до города Омска составляет 769000 км<sup>2</sup>, из них только 321000 км<sup>2</sup> действующая площадь. Иртыш не принимает значительных

притоков от Шульбинской ГЭС до города Омска. Ниже створа гидроэлектростанции Иртыш протекает в субмеридианальном направлении по Казахскому мелкосопочнику и выходит на обширную Западно-Сибирскую равнину, в основном высотой 250–285 м. В рельефе бассейна данного участка реки сосредоточено множество мелких плоских понижений, формирующихся карстово-суффозионными процессами. Здесь река характеризуется частым делением русла на рукава, большим количеством островов, наличием мелей. Ширина долины колеблется от 5 до 19 км, а при подходе к Омску сужается до 2 км. В пойме много стариц и озер. Русло реки извилистое. Ширина изменяется по мере приближения к Омску от 200 до 900 м.

На водосборе Иртыша от Шульбинской ГЭС до Омска формируется континентальный климат под воздействием двух центров погоды – Атлантического и Азиатского. Плоский рельеф и открытость с севера и юга не препятствует глубокому проникновению в ее пределы воздушных масс как с севера, так и с юга. Поэтому в любой сезон года возможны резкие изменения погоды, переход от тепла к холоду, резкие колебания температуры от месяца к месяцу, от суток к суткам и в течение суток. Для рассматриваемой территории характерны суровая продолжительная зима, сравнительно короткое, но жаркое лето, короткие переходные сезоны – весна и осень, поздние весенние и ранние осенние заморозки, короткий безморозный период. Переходные периоды (весна и осень) кратковременны и протекают бурно, особенно весна. Март по своим поздним отрицательным температурам является зимним месяцем [9]. Весенний переход через 0 °С наступает в первой декаде апреля.

На водосборе Иртыша от границы Казахстана до Омска в настоящее время отмечается слабое повышение зимних температур, среднегодового и зимнего количества осадков, у Омска тенденция к увеличению количества осадков отмечается во все сезоны. Годовое количество осадков от южных границ Омской области до Омска возрастает от 320 до 420 мм. Зимний сезон отличается относительной сухостью. Из годового количества осадков на холодный период (ноябрь – март) приходится лишь около 20–30 % [5]. Особенностью южной части территории Омской области является большая вариация максимального запаса влаги в снежном покрове от 13 до 162 мм и большая вариация сроков наступления весны, превышающая месяц. Период снеготаяния в бассейне начинается в первой декаде марта-апреля и продолжается до второй декады мая. Разброс сроков начала периода снеготаяния составляет около месяца.

Водный режим Иртыша на участке от Черлака до Омска носит сложный характер, обусловленный трансформацией различных типов режима тех зон, через которые он протекает. Главной фазой водного режима реки является весеннее половодье, которое формируется в верхней горной части бассейна, за пределами рассматриваемой территории.

На период половодья с апреля по июль приходится большая часть годового стока. При этом существенное влияние на режим оказывают водохранилища Верхне-Иртышских ГЭС. На реке Иртыш сток зарегулирован тремя водохранилищами: Бухтарминским, Усть-Каменогорским, Шульбинским. Так, при естественном режиме и до введения в эксплуатацию Бухтарминской и Усть-Каменогорской ГЭС с 1891 по 1968 г. у Омска максимальные годовые уровни воды наблюдались во время вскрытия, с элементами заторов, в среднем один раз в 3–4 года, после 1968 г. весенние заторы льда на данном участке больше не образуются. Среднее многолетнее значение максимального за год уровня снизилось в сравнении с естественными условиями на 9 % у Черлака и на 36 % у Омска [6]. Максимальные уровни воды Иртыша в многоводные годы создают угрозу населению и хозяйственным объектам для населенных пунктов Черлак и Омск. При заторах льда в реке у Черлака возникает угроза подтопления рабочего поселка Затон, расположенного в пойме.

### **Описание методов прогноза максимальных уровней воды**

Высокий сток весенних половодий вызывается сочетанием следующих условий: дождливая осень, суровая зима, большое снегонакопление, запоздавшая холодная весна (реже – ранняя весна, но очень дружная) с большим количеством осадков, резкое установление теплой погоды. В последнем случае наводнения могут формироваться в результате интенсивного притока талых и дождевых вод. На исследуемом участке реки весенние заторы льда в период ледохода чаще всего не являются причиной формирования наивысших уровней воды весеннего половодья. Значительное влияние оказывает природоохранный сброс Шульбинской ГЭС, который делается ежегодно для затопления поймы Иртыша.

Методики долгосрочного прогноза максимальных уровней весеннего половодья опираются на физико-статистические зависимости, получаемые с применением регрессионного анализа, что вызвано трудностями строгого физико-математического описания процессов их формирования, их многофакторности, зависимости от будущих погодных условий, предсказание которых с необходимой заблаговременностью и точностью пока не представляется возможным. В основу физико-статистических моделей долгосрочного прогноза максимальных уровней воды положены исследования Л.Г. Шуляковского, который предложил для этой цели использовать регрессионные модели [1–5, 10].

Атмосферные процессы и связанные с ними процессы весеннего ослабления прочности ледяного покрова и прибыли воды в реках носят инерционный характер, т. е. начальные тенденции их развития характеризуют последующий ход вскрытия реки. Циркуляционные «предвестники» раннего или позднего весеннего потепления проявляются

еще в феврале-марте. Сибирский опыт показывает, что температура воздуха в марте (декадная, месячная) может приблизительно характеризовать тип весны. Например, при низкой температуре марта – начала апреля более вероятна холодная погода в первой половине апреля и последующее интенсивное потепление в конце апреля – начале мая, усиливающее концентрацию весеннего половодья. Теплое начало марта чаще сопровождается растянутым половодьем. Конкретный набор учитываемых факторов (предикторов) и вид регрессионных уравнений индивидуальны для каждого участка реки. Все используемые характеристики – это комплексные показатели взаимодействия атмосферы, бассейна и русла [1, 10]. На первом этапе отбор предикторов в прогностическое уравнение регрессии осуществлялось исходя из качественного анализа изучаемого явления. На втором этапе на основе анализа матрицы парных коэффициентов корреляции отсеяли незначимые переменные, если это не входит в противоречие с логикой изучаемого явления. Далее, на третьем этапе, на обучающей выборке рассчитываются оценки параметров модели с использованием метода пошаговой регрессии, а по данным контрольной выборки (5–10 % от общего объема наблюдений) оценивается качество построенной модели.

Для разработки методик прогноза максимальных уровней воды отделом гидрологических прогнозов ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» создан электронный архив гидрометеорологических данных наблюдений за 1968–2017 гг. в бассейне исследуемого участка реки, который включает:

- характерные уровни воды за различные фазы водного и ледового режима;
- средние месячные расходы воды;
- средние по месяцам и декадам температуры воздуха;
- суммы осадков по месяцам и декадам;
- запасы воды в снежном покрове по данным снегомерных съемок;
- данные о толщине льда и сроках его установления;
- показатели осеннего увлажнения почвы.

Электронный архив данных по каждому бассейну включает несколько десятков характеристик (предикторов).

В расчетах использовались наблюдения за последние 27–50 лет с начала регулирования ежедневного стока Шульбинской ГЭС.

Линейное уравнение для прогноза имеет следующий общий вид:

$$H_{\text{макс}} = c_1 \times x_1 + c_2 \times x_2 + \dots + c_n \times x_n + b, \quad (1)$$

где  $b$  – свободный член ( $y$ -пересечение);  $c_i$  – коэффициенты регрессии при соответствующих предикторах.

Основные предикторы для прогноза максимального уровня у Черлака следующие:

- показатель наполнения русла и увлажнения бассейна (уровень воды в день появления ледовых явлений р. Иртыш у г. Омска,  $H_1$ );
- количество выпавших осадков в январе (на участке у г. Омск,  $x_1$ );
- показатель снегонакопления в бассейне (максимальный запас воды в снеге у Черлака,  $S_1$ );
- показатель суровости зимы (температура воздуха в декабре,  $t_{XII}$ , январе,  $t_I$ , у Черлака);
- показатель дружности весны бассейна (температура воздуха в апреле у Омска,  $t_{IV}$ );
- обеспеченная водность во время формирования максимального уровня (накопленная сумма среднесуточных расходов водоохранного сброса Шульбинской ГЭС,  $\sum Q_1$ ).

Формула прогноза максимальных уровней воды у Черлака приобретает вид:

$$H_{\text{макс Черлак}} = 0,503 \times S_1 + 0,00142 \times \sum Q_1 + 0,553 \times H_1 + 1,337 \times x_1 - 4,085 \times t_{XII} - 2,643 \times t_I - 6,862 \times t_{IV} + 419,992. \quad (2)$$

Для прогноза максимального уровня у Омска основными предикторами выбраны:

- показатель снегонакопления в бассейне (максимальный запас воды в снеге у Черлака,  $S_1$ );
- показатель суровости зимы (уровень воды на 31 марта в р. Иртыш у Омска,  $H_2$ );
- показатель увлажнения бассейна (среднемесячные расходы воды в январе на участке у Омска,  $Q_1$ );
- показатель дружности весны бассейна (температура воздуха в апреле у Омска,  $t_{IV}$ );
- обеспеченная водность во время формирования максимального уровня (накопленная сумма среднесуточных расходов водоохранного сброса Шульбинской ГЭС,  $\sum Q_1$ ).

Ниже приведены формулы (3), (4) для прогноза максимальных уровней воды у Омска:

$$H_{\text{макс Омск1}} = 0,273 \times S_1 + 0,205 \times Q_1 - 2,702 \times t_{IV} + 0,00314 \times \sum Q_1 - 28,376, \quad (3)$$

$$H_{\text{макс Омск2}} = 0,256 \times Q_1 - 2,132 \times t_{IV} + 0,0035 \times \sum Q_1 - 0,175 \times H_2 - 28,376. \quad (4)$$

## Оценка погрешности, эффективности и оперативности выпуска прогнозов

Оценка успешности методов прогноза максимальных уровней воды реки Иртыш проводилась согласно Методическим указаниям [8].

Из-за ограниченного числа прогнозов в период оперативных испытаний эффективность методик определяется в основном по результатам авторских испытаний на архивных материалах и результатам производственных испытаний за 2016–2018 гг. В табл. 1 приведены показатели точности прогностических зависимостей за период испытаний по формулам (2), (3), (4). Оправдываемость прогнозов, без учета уточнений, за тот же период по существующим методикам составила 82 % по пункту Черлак и 68 % по пункту Омск.

*Таблица 1*

**Оправдываемость прогноза максимальных уровней воды реки Иртыш за период испытания  
на архивном материале и оперативных данных**

Пункт	Авторские испытания (1989–2015 гг.)		Производственные испытания (2016–2018 гг.)		Весь период испытания (1989–2018 гг.)	
	кол-во прогнозов	оправдывае- мость, %	кол-во прогнозов	оправдывае- мость, %	кол-во прогнозов	оправдывае- мость, %
Черлак	27	89	3	100	30	90
Омск	27	100	3	67	30	97
	27	100	3	67	30	97

Анализ оправдываемости прогнозов максимальных уровней воды реки Иртыш по пунктам Черлак (2) и Омск (3), (4) показал, что по результатам проверки (1989–2018 гг.) в целом методы обеспечили хороший и отличный результат – оправдываемость 90–97 % (табл. 1). Общая оценка качества методов прогноза проводилась согласно Наставлению [7] и составила  $S/\sigma = 0,359-0,483$ , что характеризует их как качественные. По формулам прогноза по пункту Омск (3), (4) результаты оценки качества очень близки и приведены в табл. 2 одной строкой. Оправдываемость прогноза за период оперативных испытаний показана в табл. 3. В 2018 году по пункту Омск прогноз был менее успешен из-за недоучета дополнительно выпавших осадков на водосборе во время формирования максимума (осадки в виде дождя в апреле и мае превысили среднеголетние значения на 45–112 %).

Показатели точности прогноза максимальных уровней воды р. Иртыш

Пункт	S/σ	σ <sub>Δ</sub> , см	R	R-квадрат	Нормированный R-квадрат	S, см
Черлак	0,483	52	0,914	0,83	0,774	25
Омск	0,392	42	0,933	0,87	0,846	24

*Примечание.* S/σ – критерий качества методик; σ<sub>Δ</sub> – допустимая ошибка прогноза; R – множественный коэффициент корреляции; R-квадрат – коэффициент детерминации; S – стандартная ошибка.

**Оправдываемость прогноза максимальных уровней воды реки Иртыш за период испытания на независимом материале 2016-2018 гг.**

Год	Фактический уровень, см	Прогноз, см		Ошибка прогноза, см	
<b>р. Иртыш – р.п. Черлак (допустимая ошибка ряда наблюдений 42 см)</b>					
2016	610	576		34	
2017	637	630		7	
2018	589	614		-25	
<b>р. Иртыш – г. Омск (допустимая ошибка ряда наблюдений 53 см)</b>					
2016	341	309	312	32	29
2017	366	316	321	50	45
2018	296	241	240	55	56

### Заключение

Разработанные методы долгосрочного прогноза максимальных уровней воды в реке Иртыш у пунктов Черлак и Омск показали высокое качество прогнозов и отличную оправдываемость при выполнении испытаний. Методы прогнозов были внедрены в оперативную практику отдела гидрологических прогнозов Гидрометцентра ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» в январе 2019 года в качестве основных.

### Список литературы

1. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 198 с.
2. Бузин В.А. Методы прогнозов зажорных и заторных явлений // Труды пятого всесоюзного гидрологического съезда. Том 7. – Л.: Гидрометеиздат, 1989.

3. Бураков Д.А., Космакова В.Ф. Метод прогноза максимальных уровней весеннего половодья реки Томи у г. Томска и результаты его применения на практике // Материалы Международной научно-практической конференции, 16–20 октября 2012 г., Томск, 2012. С. 69–71.

4. Бураков Д.А., Космакова В.Ф., Гордеев И.Н. Результаты испытания физико-статистического метода долгосрочного прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья р. Енисей у г. Кызыл // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2012. – Информационный сборник № 39. С. 121–126.

5. Волковская Н.П., Мезенцева О.В. Оценка влияния динамики годовых сумм осадков на зимний сток рек Омской области // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие современной науки: проблемы и перспективы» [Эл. ресурс]. – Астана: Баспасы «Академия», 2017. – С. 228–237.

6. Волковская Н.П. Наводнения на реках Омской области // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2017. – № 1 (8). – С. 1–7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28882632>.

7. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть 1. Прогнозы режима вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 193 с.

8. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 150 с.

9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Алтай и Западная Сибирь. Т. 15. Вып. 3. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. С. 8–64.

10. Шуляковский Л.Г., Еремина В.А. К методике прогноза заторных уровней воды // Метеорология и гидрология. – 1952. – № 1. – С. 46–51.

**МЕТОД ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
МОЛОДЫХ И ОДНОЛЕТНИХ ЛЬДОВ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД  
В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ  
С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ 30–45 СУТОК И ТЕХНОЛОГИЯ  
ЕГО СОСТАВЛЕНИЯ**

*Арктический и Антарктический научно-исследовательский  
институт, Санкт-Петербург*

**Введение**

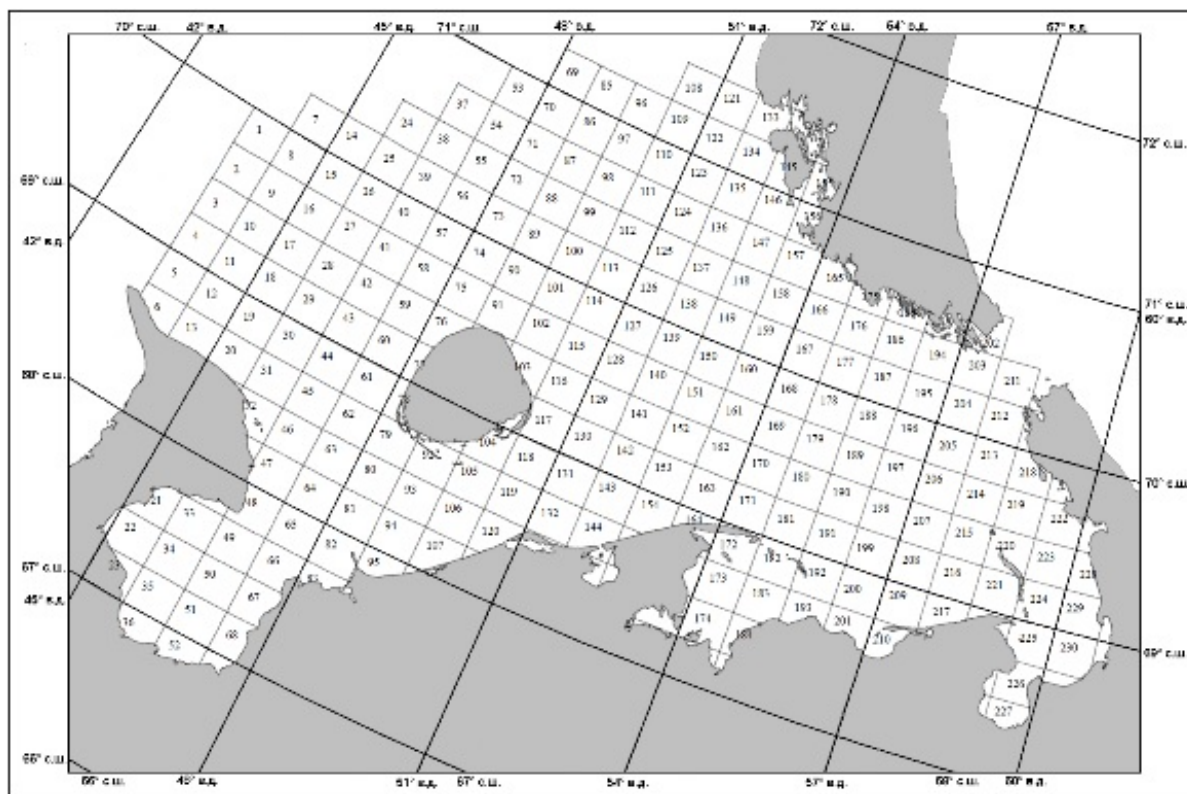
Актуальность разработки метода определяется необходимостью информационного ледового обеспечения хозяйственных работ и плаваний в осенне-зимний период в юго-восточной части Баренцева моря.

В настоящее время отсутствует долгосрочный метод прогноза, который позволял бы с заблаговременностью 1 месяц и более предвидеть особенности ледовых условий такого важного района, как юго-восточная часть Баренцева моря. Важность этой акватории определяется, прежде всего, активной хозяйственной деятельностью, которая ведется здесь в течение последних лет. Экономически эффективные и экологически безопасные морские операции в арктических акваториях возможны только при соответствующем уровне специализированного ледового и гидрометеорологического обеспечения.

**1. Метод долгосрочного прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период заблаговременностью 30–45 суток. Основные положения**

В процессе работы по созданию метода прогноза вся акватория юго-восточной части Баренцева моря была разбита на равновеликие квадраты сеточной области размером примерно 28×28 км (15 мин по широте × 45 мин по долготе). Таких квадратов получилось 230.

На рис. 1 представлена сеточная область, внутри каждого квадрата которой с фактических ледовых карт снималась и заносилась в специальные промежуточные таблицы информация о наличии льда того или иного возраста и о преобладании льда той или иной возрастной градации за каждую декаду осенне-зимнего периода (ноябрь – апрель).



**Рис. 1. Сеточная область юго-восточной части Баренцева моря.**

В качестве исходного материала использовались карты ледовых авиационных разведок с 1964 по 1988 г., а также комплексные ледовые карты, построенные на основе спутниковых снимков, за период 1989–2011 гг. Привлекались также данные полярных станций.

Если информация о ледовой обстановке в юго-восточной части Баренцева моря, получаемая с карт ледовых авиационных разведок, носила эпизодический характер, то информация о распределении льдов, полученная с комплексных ледовых карт, являлась и является по настоящее время наиболее полной. Такие карты составлялись и составляются каждые 5–6 дней на протяжении всего годового цикла начиная с 1989 года.

В табл. 1 представлено количество проанализированных ледовых карт с декадной дискретностью с октября по апрель за период 1964–2011 гг.

Статистическая обработка полученной информации и ее анализ по каждому квадрату сеточной области за указанный ряд лет позволили получить такие важные характеристики, как вероятность наличия льда различного возраста в каждом из 230 квадратов сеточной

области в октябре – августе с декадной дискретностью и вероятность преобладания льда того или иного возраста, также для каждого из квадратов сеточной области за этот период.

Такие таблицы были составлены для каждого из 230 квадратов сеточной области, покрывающей акваторию юго-восточной части Баренцева моря.

Таблица 1

**Количество проанализированных ледовых карт с декадной дискретностью за период с 1964 по 2011 г. с информацией о ледовых условиях в квадратах сеточной области юго-восточной части Баренцева моря**

Месяц	Октябрь			Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель		
Декада	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
К-во карт	34	40	50	42	44	43	45	51	50	47	56	49	42	62	45	47	63	48	41	54	44

Был проведен анализ полученных результатов по каждому из квадратов с декадной дискретностью. Выявлены годы с максимальными и минимальными вероятностями наличия льда того или иного возраста за каждую декаду по каждому из квадратов сеточной области в течение всего осенне-зимнего периода.

Основой метода долгосрочного прогноза распределения молодых и однолетних льдов [1] в юго-восточной части Баренцева моря является метод типизации как один из наиболее эффективных способов описания значительной сезонной и межгодовой изменчивости распределения ледяного покрова.

Была выполнена типизация ледовых условий по характеру их сезонных изменений.

Выделение групп (типов) осуществлялось с использованием значений площади льда в юго-восточной части Баренцева моря, являющихся интегральными показателями ледовых условий.

Ледовые условия анализировались в осенне-зимний период, или период нарастания ледяного покрова (ноябрь – апрель).

В качестве показателя периода нарастания ледяного покрова выбраны среднемесячные значения площади льда за ноябрь – апрель. При делении на группы в качестве критериев были приняты доли стандартного отклонения ( $\sigma$ ) площади, занятой льдом ( $L$ ), за выбранный период. Значение  $1,2\sigma$  принято как критерий крупной положительной или отрицательной аномалии [3].  $L_{cp}$  – средняя многолетняя ледовитость за месяц.

В результате выделено 5 групп:

1 – экстремально легкая ( $L \leq L_{cp} - 1,2\sigma$ );

- 2 – легкая ( $L_{cp} - 1,2\sigma < L < L_{cp} - 0,4\sigma$ );  
 3 – средняя ( $L_{cp} - 0,4\sigma \leq L \leq L_{cp} + 0,4\sigma$ );  
 4 – тяжелая ( $L_{cp} + 0,4\sigma < L < L_{cp} + 1,2\sigma$ );  
 5 – экстремально тяжелая ( $L \geq L_{cp} + 1,2\sigma$ ).

Анализировались данные среднемесячной ледовитости юго-восточной части Баренцева моря с 1928 по 1988 г. и среднедекадные значения площади, занятой льдом, с 1989 по 2011 год.

Принадлежность осенне-зимнего периода конкретного года к той или иной группе определялась по совокупности отнесения к той ли иной группе каждого из пяти месяцев, составляющих осенне-зимний период.

Распределение значений ледовитости по выделенным группам за весь рассмотренный ряд лет и их повторяемость в осенне-зимний период представлено в табл. 2.

Таблица 2

**Распределение значений ледовитости юго-восточной части Баренцева моря по выделенным группам и их повторяемость за осенне-зимний период**

Группа	Градация, доли $\sigma$	Повторяемость группы, %	Значение ледовитости по месяцам, %					
			XI	XII	I	II	III	IV
I	$L \leq L_{cp} - 1,2\sigma$	14	0	$\leq 10$	$\leq 28$	$\leq 41$	$\leq 45$	$\leq 42$
II	$L_{cp} - 1,2\sigma < L < L_{cp} - 0,4\sigma$	8	0,1–3	11–20	29–39	40–53	46–58	43–56
III	$L_{cp} - 0,4\sigma \leq L \leq L_{cp} + 0,4\sigma$	47	4–10	21–30	40–50	54–65	59–71	57–72
IV	$L_{cp} + 0,4\sigma < L < L_{cp} + 1,2\sigma$	10	11–18	31–41	51–61	66–78	72–84	73–87
V	$L \geq L_{cp} + 1,2\sigma$	21	$\geq 19$	$\geq 42$	$\geq 62$	$> 78$	$> 84$	$\geq 88$

Ледообразование в юго-восточной части Баренцева моря начинается, как правило, в конце октября всегда в отсутствии остаточных льдов. В ноябре наблюдаются исключительно молодые и начальные виды льдов. Однолетние льды в этой части Баренцева моря в среднем появляются в январе. В «тяжелые» годы это происходит уже в декабре, а в «легкие» – в феврале. Своего максимального развития ледяной покров в юго-восточной части Баренцева моря достигает в апреле. А в мае уже отчетливо начинает проявляться процесс таяния и разрушения ледяного покрова.

Особенности развития ледовых процессов при различных типах ледовых условий, как показал анализ, достаточно отчетливо проявляются и в распределении молодых и однолетних льдов на акватории юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период.

В результате анализа для осенне-зимнего периода было определено типовое распределение молодых и однолетних льдов, характерное для каждой из выделенных групп (типов ледовых условий).

Карты с типовым распределением молодых и однолетних льдов, характерным для каждой из выделенных групп, построены для декабря – апреля с месячной дискретностью (на середину месяца). Было построено 25 таких карт.

Таким образом, спрогнозировав с помощью определенных признаков тип ледовых условий (группу, к которой относится рассматриваемый месяц рассматриваемого года), можно получить в картированном виде прогностическое распределение молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря для этого временного интервала.

Инерционность процесса изменения ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря в течение годового цикла выражена значительно слабее, чем в других районах моря. Однако это свойство проявляется достаточно отчетливо от месяца к месяцу на протяжении осенне-зимнего периода.

Важнейшими факторами, определяющими формирование ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря, являются атмосферные процессы. Направление и интенсивность воздушных переносов в осенне-зимний период обуславливает характер динамических процессов в ледяном покрове, а аномалии температуры воздуха характеризуют интенсивность нарастания льда. В апреле-мае происходит перестройка синоптических процессов с зимнего типа на летний тип. Именно в этот период времени и большей частью по этой причине инерционность изменения ледовых условий от месяца к месяцу сводится к минимуму, а иногда нарушается вовсе. Это наглядно подтверждает табл. 3, в которой представлены вероятности сохранения типов ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря от месяца к месяцу на протяжении всего периода существования ледяного покрова при различных типах синоптических процессов. Действительно, от апреля к маю в период перестройки синоптических процессов с зимнего типа на летний существенно уменьшается вероятность сохранения типа ледовых условий и резко увеличивается вероятность изменения типа ледовых условий более, чем на одну градацию, т. е. возрастает вероятность смены знака аномалии ледовитости от апреля к маю. Однако на протяжении всего осенне-зимнего периода при зимнем типе синоптических процессов инерционность изменений типа ледовых условий от месяца к месяцу выражена отчетливо.

В качестве предикторов, характеризующих атмосферные и ледовые процессы в юго-восточной части Баренцева моря в период нарастания ледяного покрова, приняты следующие параметры:

1. Ледовитость юго-восточной части Баренцева моря за предшествующие месяцы.
2. Температура воздуха на п/ст Малые Кармакулы.
3. Направление и интенсивность воздушных переносов в центральном районе юго-восточной части Баренцева моря.
4. Температура воздуха в Баренцбурге.

Таблица 3

**Вероятность сохранения типов ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря от месяца к месяцу на протяжении всего периода существования ледяного покрова при различных типах синоптических процессов**

Характеристика типа синоптических процессов	Зимний тип					Переход от зимнего типа к летнему	Летний тип	
	XI–XII	XII–I	I–II	II–III	III–IV		IV–V	V–VI
От месяца к месяцу								
Вероятность сохранения типа ледовых условий, %	61	67	71	68	62	51	69	65
Вероятность перехода типа ледовых условий в смежный, %	30	29	25	27	31	25	26	29
Вероятность изменения типа ледовых условий более, чем на одну градацию, %	9	4	4	5	7	24	5	6

В комментариях к перечисленным параметрам необходимо добавить, что:

1) п/ст Малые Кармакулы выбрана как наиболее репрезентативная из давно действующих станций в юго-восточной части Баренцева моря. Использовались среднемесячные значения температуры воздуха на этой станции 1922–2011 гг.;

2) направление воздушных переносов определяется как преобладающее в области радиусом 30 миль с центром в точке 70° 00' с. ш., 51° 30' в. д., а их интенсивность – как изобарический градиент в пределах той же области. Использовались среднемесячные карты приземного давления 1937–2011 гг.;

3) температура воздуха в Баренцбурге достаточно хорошо коррелирует с температурой воды в слое 0–50 м на гидрологическом разрезе № 9 (станции 1–5) в западной части Баренцева моря и косвенным образом характеризует поток тепла, поступающий в юго-восточную часть Баренцева моря с запада. Использовались среднемесячные значения температуры воздуха на этой метеостанции с 1932 по 2011 г., за исключением 1941–1946 и 1991 гг.;

4) они перечислены в порядке значимости, которая оценена специальным исследованием, результаты которого приводятся в табл. 4.

Таблица 4

**Значимость фактических предикторов при определении прогностического типа ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря**

Наименование предиктора	Значимость предиктора, %
Ледовитость юго-восточной части Баренцева моря за предшествующие месяцы	58
Температура воздуха на п/ст Малые Кармакулы	19
Направление и интенсивность воздушных переносов в центральном районе юго-восточной части Баренцева моря (область радиусом 30 миль с центром в точке 70° 00' с. ш., 51° 30' в. д.)	16
Температура воздуха в Баренцбурге	7

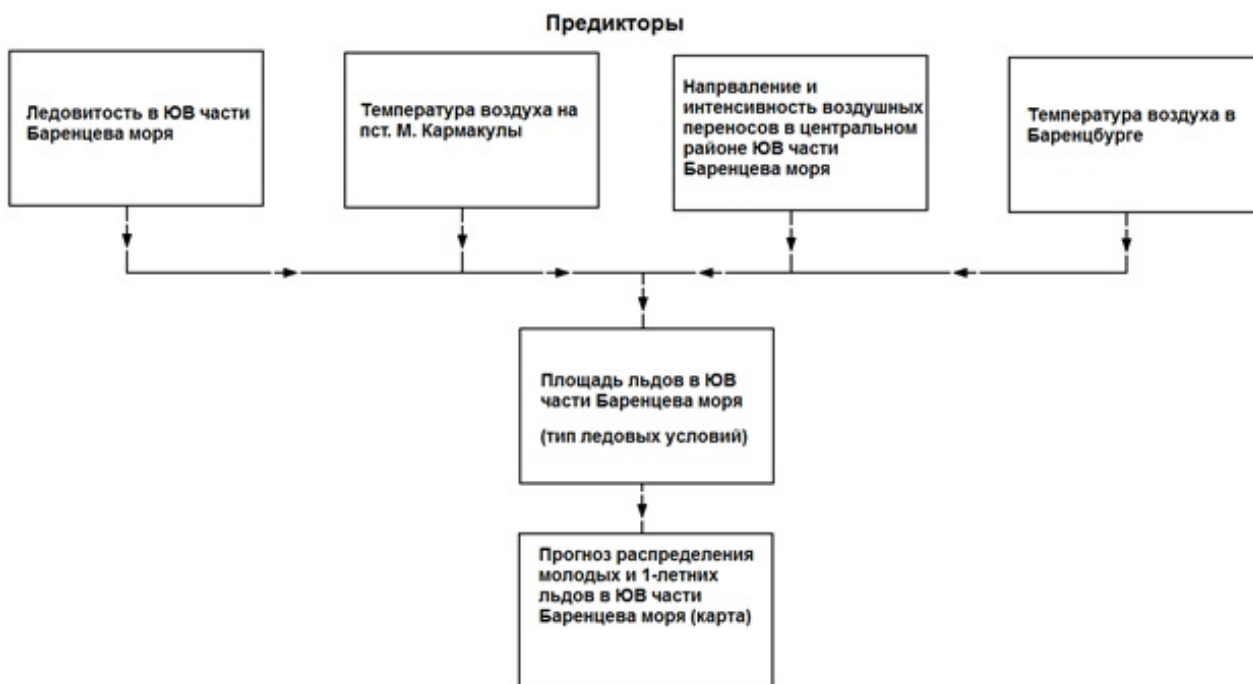
Анализ каждого из предикторов позволил получить численные значения ледовитости и параметров атмосферы, характерных для каждой из выделенных в процессе типизации ледовых условий пяти групп.

Определенные сочетания численных значений этих параметров являются признаками, по которым, используя только фактические данные, можно достаточно надежно спрогнозировать тип ледовых условий на декабрь – апрель, тем самым получив типовое прогностическое распределение молодых и однолетних льдов для осенне-зимнего периода с месячной дискретностью (на середину месяца).

Таким образом, основной задачей пользователя при составлении прогноза распределения льдов в юго-восточной части Баренцева моря является идентифицировать, к какой группе (к какому типу ледовых условий) относится рассматриваемый месяц рассматриваемого года с помощью табл. 3, 5–7.

Определив группу (т. е. тип ледовых условий), остается выбрать для предоставления потребителю нужный набор типовых карт.

Блок-схема составления прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период с заблаговременностью 30–45 суток представлена на рис. 2.



**Рис. 2. Блок-схема составления долгосрочного прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период.**

Прогноз распределения молодых и однолетних льдов в осенне-зимний период в юго-восточной части Баренцева моря делится на:

- декабрьский, составляемый 1 декабря на декабрь и январь (на середину месяца) и уточняемый 15 декабря на январь (также на середину месяца);
- январский, составляемый 1 января на январь и февраль (на середину месяца) и уточняемый 15 января на февраль (также на середину месяца);
- февральский, который составляется 25 февраля на март и апрель (на середину месяца), и уточняется 15 марта на апрель (также на середину месяца).

**2. Технология составления долгосрочного прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период заблаговременностью 30-45 суток**

**2.1. Порядок составления декабрьского прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря**

1 декабря осуществляется сбор фактической информации, необходимой для составления прогноза типа ледовых условий на декабрь:

- средней за ноябрь ледовитости юго-восточной части Баренцева моря ( $L_{xi}$ );

– суммы среднемесячных температур воздуха на п/ст Малые Кармакулы за октябрь-ноябрь ( $\Sigma T_{aX-XI}$  МК);

– со среднемесячных карт приземного давления определяется направление и интенсивность воздушных переносов в октябре и ноябре в области радиусом 30 миль с центром в точке  $70^{\circ} 00'$  с. ш.,  $51^{\circ} 30'$  в. д ( $ВП_{X,XI}$ ,  $\Delta P_{X,XI}$ );

– суммы среднемесячных температур воздуха в Баренцбурге за октябрь-ноябрь ( $\Sigma T_{aX-XI}$  Б).

Затем, со значениями перечисленных предикторов входят в табл. 5 и по совокупности представленных в ней признаков определяют группу, к которой относятся ледовые условия декабря рассматриваемого года. Далее с учетом вероятностей сохранения прогнозируемого типа ледовых условий от декабря к январю и его перехода в смежные типы (табл. 3) прогнозируется тип ледовых условий и января.

Таблица 5

**Значения ледовитости юго-восточной части Баренцева моря и параметров атмосферы в осенне-зимний период, характерные для различных типов ледовых условий в декабре (декабрьский прогноз)**

Группа	Предиктор			
	$L_{XI}$ , %	$\Sigma T_{aX-XI}$ МК, °С	$ВП_{X,XI}$ °; $\Delta P_{X,XI}$ , мбар	$\Sigma T_{aX-XI}$ Б, °С
I	0	$\geq -2$	$190 < ВП_{X,XI} \leq 250$ при $\Delta P_{X,XI} > 3$	$> -1,0$
II	$0,1 \leq L_{XI} \leq 3$	$-7 < \Sigma T_{aX-XI} < -2$	–	$-8 < \Sigma T_{aX-XI} \leq -2$
III	$4 \leq L_{XI} \leq 10$	$-11 < \Sigma T_{aX-XI} \leq -8$	–	–
IV	$11 \leq L_{XI} \leq 19$	$-20 < \Sigma T_{aX-XI} \leq -12$	–	$-26 \leq \Sigma T_{aX-XI} \leq -18$
V	$> 19$	$< -20$	$300 \leq ВП_{X,XI} \leq 350$ при $\Delta P_{X,XI} \geq 3$ или: $80 \leq ВП_{X,XI} \leq 140$	$< -26$

Впоследствии отбираются и выдаются потребителю типовые прогностические карты с характерным для установленной группы распределением молодых и однолетних льдов, ожидаемым в юго-восточной части Баренцева моря в декабре и январе. Карты составлены на середину месяца.

15 декабря в рамках уточнения декабрьского прогноза производится уточнение прогнозируемого типа ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря на январь. При уточнении декабрьского прогноза типа ледовых условий на январь используются данные о фактической ледовитости юго-восточной части Баренцева моря на середину декабря (ее сравнение с нормой) и фоне температуры воздуха над акваторией этой части Баренцева моря в первой половине декабря (сравнение с нормой, выявление аномалий). Данные

о фактической ледовитости юго-восточной части Баренцева моря на середину декабря получают с комплексных ледовых карт, построенных в ФГБУ «ААНИИ» по данным ИСЗ, а о фоне температуры воздуха в регионе – с синоптических карт, составляемых также в ААНИИ.

Типовая прогностическая карта с распределением молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря в январе, представляемая в рамках уточнения декабрьского прогноза, выдается потребителю 15 декабря с учетом корректировки прогнозируемого на декабрь типа ледовых условий, а также с учетом вероятностей сохранения прогнозируемого типа ледовых условий от декабря к январю и его перехода в смежные типы (табл. 3).

## **2.2. Порядок составления январского прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря**

1 января осуществляется сбор необходимой для составления прогноза типа ледовых условий на январь фактической информации:

– средней за декабрь прошедшего года ледовитости юго-восточной части Баренцева моря ( $L_{XII}$ );

– суммы среднемесячных температур воздуха на п/ст Малые Кармакулы за октябрь – декабрь ( $\Sigma T_{aX-XII}$  МК);

– со среднемесячных карт приземного давления определяется направление и интенсивность воздушных переносов в октябре, ноябре и декабре в области радиусом 30 миль с центром в точке  $70^{\circ} 00' \text{ с. ш.}, 51^{\circ} 30' \text{ в. д}$  ( $VP_{X, XI, XII}$  и  $\Delta P_{X, XI, XII}$ );

– суммы среднемесячных температур воздуха в Баренцбурге за октябрь – декабрь ( $\Sigma T_{aX-XII}$  Б).

Затем со значениями перечисленных предикторов входят в табл. 6 и по совокупности представленных в ней признаков определяют группу, к которой относятся ледовые условия января рассматриваемого года, а с учетом вероятностей сохранения прогнозируемого типа ледовых условий от января к февралю и его перехода в смежные типы (табл. 3), прогнозируется тип ледовых условий и февраля.

Далее отбираются и выдаются потребителю типовые прогностические карты с характерным для установленной группы распределением молодых и однолетних льдов, ожидаемым в юго-восточной части Баренцева моря в январе и феврале. Карты составлены на середину месяца.

**Значения ледовитости юго-восточной части Баренцева моря и параметров атмосферы  
в осенне-зимний период, характерные для различных типов ледовых условий  
в январе (январский прогноз)**

Группа	Предиктор			
	$L_{XII}$ , %	$\Sigma T_{aX-XII}$ , °C	$ВП_{X, XI, XII}$ , ° ; $\Delta P_{X, XI, XII}$ , мбар	$\Sigma T_{aX-XII}$ Б, °C
I	$\leq 16$	$> -10$	$180 < ВП_{X, XI, XII} \leq 270$ при $\Delta P_{X, XI, XII} \geq 4$	$> -7$
II	$12 \leq L_{XII} \leq 24$	$-14 < \Sigma T_{aX-XII} \leq -10$	–	$-16 < \Sigma T_{aX-XII} \leq -8$
III	$12 \leq L_{XII} \leq 40$	$-18 < \Sigma T_{aX-XII} \leq -10$	–	–
IV	$25 \leq L_{XII} \leq 40$	$-32 < \Sigma T_{aX-XII} \leq -18$	–	$-42 \leq \Sigma T_{aX-XII} \leq -31$
V	$\geq 40$	$< -32$	$280 \leq ВП_{X, XI, XII} \leq 330$ при $\Delta P_{X, XI, XII} > 3$ или: $100 \leq ВП_{X, XI, XII} \leq 160$	$< -42$

15 января в рамках уточнения январского прогноза производится уточнение прогнозируемого типа ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря на февраль. При уточнении январского прогноза типа ледовых условий на февраль используются данные о фактической ледовитости юго-восточной части Баренцева моря на середину января (ее сравнение с нормой) и фоне температуры воздуха над акваторией этой части Баренцева моря в первой половине января (сравнение с нормой, выявление аномалий). Данные о фактической ледовитости юго-восточной части Баренцева моря на середину января получают с комплексных ледовых карт, построенных в ААНИИ по данным ИСЗ, а о фоне температуры воздуха в регионе – с синоптических карт, составляемых в ААНИИ.

Типовая прогностическая карта с распределением молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря в феврале, представляемая в рамках уточнения январского прогноза, выдается потребителю 15 января с учетом корректировки прогнозируемого на январь типа ледовых условий, а также с учетом вероятностей сохранения прогнозируемого типа ледовых условий от января к февралю и его перехода в смежные типы (табл. 3).

В качестве примечания следует отметить, что при составлении январского прогноза экстремально легкие и экстремально тяжелые ледовые условия определяются легко и уверенно, а последние, кроме того, однозначно сохраняют величину аномалии на протяжении всего осенне-зимнего периода.

В случае, если по совокупности признаков идентифицируется пятая группа, то потребителю выдается набор прогностических карт распределения молодых и однолетних льдов, соответствующих экстремально тяжелому типу ледовых условий, на весь период нарастания ледяного покрова, то есть по апрель включительно.

### 2.3. Порядок составления февральского прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря

В третьей декаде февраля осуществляется сбор необходимых для составления прогноза типа ледовых условий в марте фактических данных:

- средней за январь ледовитости юго-восточной части Баренцева моря ( $L_1$ );
- суммы среднемесячных температур воздуха за октябрь-декабрь и средней за январь температуры воздуха на п/ст Малые Кармакулы ( $\Sigma T_{aX-XII}$  и  $T_{aI}$  МК);
- направлений воздушных переносов в ноябре, декабре и январе, а также январской интенсивности воздушных переносов в области радиусом 30 миль с центром в точке  $70^\circ 00'$  с. ш.,  $51^\circ 30'$  в. д., определяемых со среднемесячных карт приземного давления ( $ВП_{XI, XII, I}$  и  $\Delta P_I$ ).

Затем со значениями перечисленных предикторов входят в табл. 7 и по совокупности представленных в ней признаков определяют группу, к которой относятся ледовые условия марта рассматриваемого года, а с учетом вероятностей сохранения прогнозируемого типа ледовых условий от марта к апрелю и его перехода в смежные типы (табл. 3) прогнозируется тип ледовых условий и апреля.

Далее отбираются и выдаются потребителю типовые прогностические карты с характерным для установленной группы распределением молодых и однолетних льдов, ожидаемым в юго-восточной части Баренцева моря в марте и апреле. Карты составлены на середину месяца.

Таблица 7

**Значения ледовитости юго-восточной части Баренцева моря и параметров атмосферы в зимний период, характерные для различных типов ледовых условий в марте (февральский прогноз)**

Группа	Предиктор		
	$L_1, \%$	$\Sigma T_{aX-XII}, ^\circ C; T_{aI}, ^\circ C$	$ВП_{XI, XII, I}, ^\circ$ румбы; $\Delta P_I, \text{мбар}$
I	$\leq 27$	$T_{aI} > -10$	$200 \leq ВП_{XI, XII, I} \leq 270$
II	$27 < L_1 \leq 36$	$T_{aI} > -12$	$235 \leq ВП_I \leq 270$ при $\Delta P_I > 4$
III	$36 < L_1 \leq 48$	–	–
IV	$48 < L_1 \leq 60$	$T_{aI} < -20$	$130 \leq ВП_I \leq 175$
V	$> 60$	$\Sigma T_{aX-XII} \leq -30; T_{aI} < -15$	$30 \leq ВП_I \leq 100$

15 марта в рамках уточнения февральского прогноза производится уточнение прогнозируемого типа ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря на апрель. При

уточнении февральского прогноза типа ледовых условий на апрель используются данные о фактической ледовитости юго-восточной части Баренцева моря на середину марта (ее сравнение с нормой) и фоне температуры воздуха над акваторией этой части Баренцева моря в первой половине марта (сравнение с нормой, выявление аномалий). Данные о фактической ледовитости юго-восточной части Баренцева моря на середину марта получают с комплексных ледовых карт, построенных в ААНИИ по данным ИСЗ, а о фоне температуры воздуха в регионе – с синоптических карт, составляемых в ААНИИ.

Типовая прогностическая карта с распределением молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря в апреле, представляемая в рамках уточнения февральского прогноза, выдается потребителю 15 марта с учетом корректировки прогнозируемого на март типа ледовых условий, а также с учетом вероятностей сохранения прогнозируемого типа ледовых условий от марта к апрелю и его перехода в смежные типы (табл. 3).

Следует отметить, что в диагностических признаках февральского прогноза полностью исключен даже минимум неопределенности, присущий январскому прогнозу, когда подчас бывает сложно отличить по представленным в табл. 6 признакам вторую и четвертую группу от третьей, т. е. легкие и тяжелые условия от средних.

### **3. Оценка оправдываемости прогнозов типов ледовых условий и распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря в декабре-апреле**

Основой прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период является прогноз типа ледовых условий. Прогностическое распределение молодых и однолетних льдов жестко связано с прогнозом типа ледовых условий, поэтому выдаваемые потребителю прогностические карты распределения льдов и называются типовыми.

Оправдываемость прогнозов типов ледовых условий оценивалась согласно Наставлению [2]. При оценке прогноза типов ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период с заблаговременностью 30–45 суток оценку 100 % получал прогноз, в котором верно был отражен тип ледовых условий по установленному критерию большую часть прогностического периода (не менее трех декад). Оценку 0 % получал прогноз, в котором неверно был предсказан тип ледовых условий для всего периода или для его большей части (не менее трех декад).

Обеспеченность метода прогноза площади, занятой льдом (типа ледовых условий) в юго-восточной части Баренцева моря для осенне-зимнего периода (на зависимом материале), приведена в табл. 8.

**Обеспеченность (%) метода прогноза площади льда (типа ледовых условий)  
в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период**

Сроки составления прогноза	Период действия прогноза	Группа				
		I	II	III	IV	V
2 декабря	декабрь	100	94	90	91	100
15 декабря*	январь	98	90	86	88	96
2 января	январь	100	92	84	93	100
15 января*	февраль	98	89	80	91	98
25 февраля	март	100	93	87	96	100
15 марта*	апрель	97	88	79	90	94

*Примечание.* \* по 15 числам декабря, января и марта происходит уточнение прогноза типа ледовых условий на январь, февраль и апрель соответственно.

Следует отметить, что наибольшая обеспеченность отмечается для случаев с крупными аномалиями ледовых условий (I и V группы), что является важным моментом и свидетельствует о надежности метода.

При оценке оправдываемости прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря рассматривалось совпадение прогностического и фактического наличия молодого и однолетнего льда, а также чистой воды в каждом из 230 квадратов сеточной области. Прогноз по квадрату считался оправдавшимся на 100 %, если прогностическое и фактическое наличие молодого, однолетнего льда или чистой воды совпадали в большей части данного квадрата. Прогноз по квадрату считался оправдавшимся на 50 %, если прогностическое и фактическое наличие молодого, однолетнего льда или чистой воды совпадали в меньшей части данного квадрата. В случае несовпадения прогностического и фактического наличия молодого, однолетнего льда или чистой воды в рассматриваемом квадрате прогноз по нему считался не оправдавшимся. После оценки оправдываемости прогноза по каждому квадрату подсчитывалась общая оправдываемость данного конкретного прогноза по всей юго-восточной части Баренцева моря.

Обеспеченность метода прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря для осенне-зимнего периода (на зависимом материале) приведена в табл. 9.

**Обеспеченность (%) метода прогноза распределения молодых и однолетних льдов  
в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период и его сравнение  
с климатическим прогнозом**

Срок составления прогноза	Период действия прогноза	$P_m$ , %	$P_n$ , %	$\Xi$ , %
2 декабря	декабрь	87	64	23
15 декабря	январь	82	61	21
2 января	январь	89	63	26
15 января	февраль	83	62	21
25 февраля	март	84	60	24
15 марта	апрель	76	59	17

*Примечание.*  $P_m$  – обеспеченность метода распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря;  $P_n$  – обеспеченность нормы;  $\Xi$  – эффективность метода.

#### 4. Пример составления прогноза

Ниже приведен пример разработки прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря.

##### 1. Входные данные прогноза

Район – юго-восточная часть Баренцева моря.

Дата составления прогноза – 1 января 2011 г., уточнение прогноза – 15 января 2011 г.

Прогнозируемый период – январь-февраль 2011 г.

Исходный тип ледовых условий в декабре – средний (III тип ледовых условий) по площади занятой льдом в юго-восточной части Баренцева моря.

##### 2. Исходные данные:

– средняя за декабрь 2010 г. ледовитость юго-восточной части Баренцева моря – 25 % (тип ледовых условий в декабре – средний);

– сумма среднемесячных температур воздуха на п/ст Малые Кармакулы за октябрь-декабрь 2010 г. – минус 12 °С.

##### 3. Прогноз типа ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря на январь и февраль 2011 года:

– по средней за декабрь ледовитости юго-восточной части Баренцева моря и сумме среднемесячных температур воздуха на п/ст Малые Кармакулы за октябрь-декабрь 2010 г. ледовые условия в юго-восточной части Баренцева моря в декабре 2010 года однозначно характеризуются как средние (III тип ледовых условий);

– учитывая вероятность сохранения типов ледовых условий от декабря к январю (67 %) и от января к февралю (71 %), прогнозируем сохранение III типа ледовых условий в январе и феврале 2011 года.

*4. Прогноз распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря на середину января и середину февраля 2011 года:*

– из набора типовых карт распределения молодых и однолетних льдов в январе и феврале выбираем карты, соответствующие III типу ледовых условий. Их и выдаем потенциальному потребителю в качестве конечного продукта;

– 15 января 2011 г. производим уточнение январского прогноза типа ледовых условий на февраль. При этом опираемся на фактические данные по ледовитости юго-восточной части Баренцева моря на середину января и фон температуры воздуха над акваторией юго-восточной части Баренцева моря за первую половину января. Площадь юго-восточной части Баренцева моря, занятой льдом к 15 января, составила 40 % при средней за январь норме 45 %, а фон температуры воздуха над этой частью Баренцева моря был близок к норме. В рамках январского уточнения прогноза типа ледовых условий на февраль сохраняем прогнозируемый ранее в январском прогнозе III тип ледовых условий, а соответственно, оставляем в силе и прогноз – распределение молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря на середину февраля 2011 г. На рис. 3 представлена типовая прогностическая карта распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря на 15 февраля 2011 г., а на рис. 4 – фактическое распределение льдов в юго-восточной части Баренцева моря на 15 февраля 2011 года по данным ИСЗ.

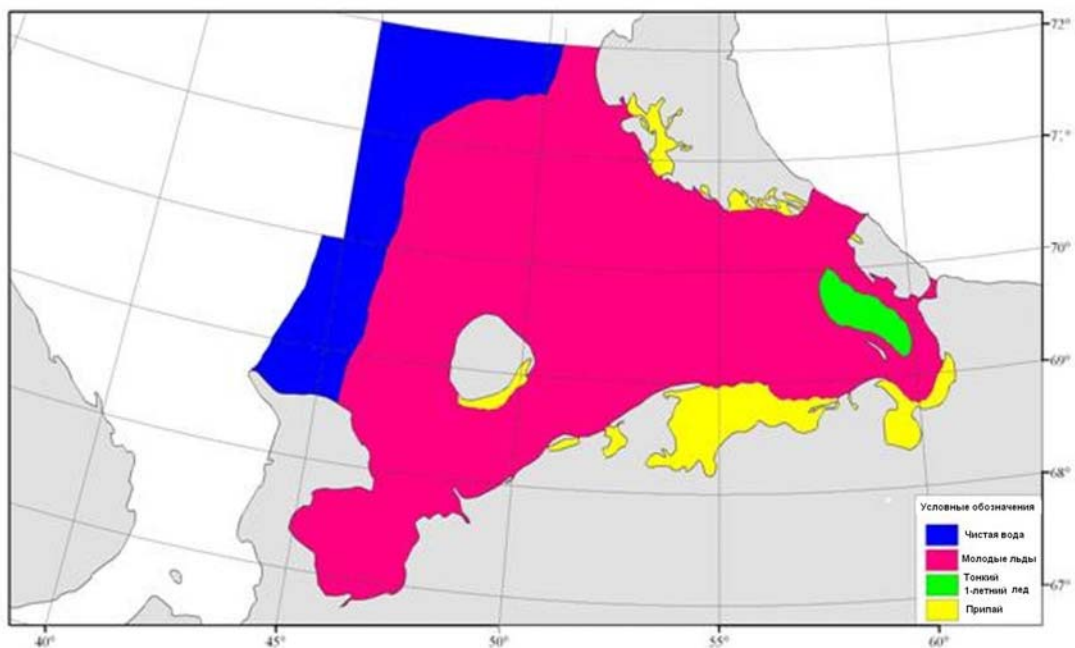
*5. Оправдываемость прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря на середину февраля 2011 года*

Оправдываемость прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря на середину февраля 2011 г., составленного 1 января и уточненного 15 января 2011 года, составила 82 %.

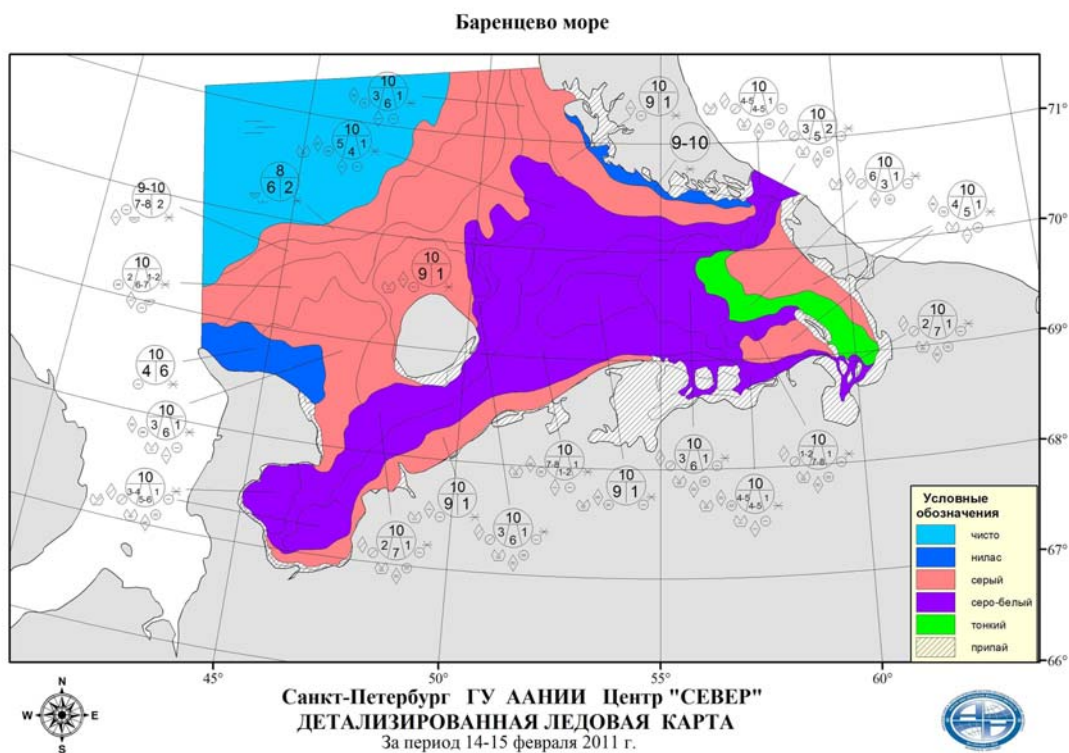
## **5. Результаты испытаний метода прогноза**

В период с декабря 2013 г. по апрель 2017 г. проводились авторские ретроспективные испытания метода прогноза на независимом материале.

Всего за период испытаний было составлено 12 долгосрочных прогнозов типов ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря и 12 прогнозов распределения молодых и однолетних льдов в этой части Баренцева моря с заблаговременностью 30–45 суток.



**Рис. 3. Прогноз распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря на 15 февраля 2011 г. с заблаговременностью 45 суток для среднего (III) типа ледовых условий.**



**Рис. 4. Фактическое распределение молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря 15 февраля 2011 г. по данным ИСЗ.**

Обобщенные результаты испытаний метода прогноза типов ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря и базирующемся на нем прогнозе распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря представлены в табл. 10.

Таблица 10

**Обобщенные результаты испытаний метода прогноза типов ледовых условий  
и распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря  
в осенне-зимний период заблаговременностью 30–45 суток**

Характеристика	Район моря	Период	Р, %	Ркл, %	Э, %
Тип ледовых условий	юго-восточная часть Баренцева моря	осенне-зимний (декабрь – апрель)	96	65	31
Распределение молодых и однолетних льдов	юго-восточная часть Баренцева моря	осенне-зимний (декабрь – апрель)	82	61	21

*Примечание.* Р – оправдываемость прогноза за четыре года; Ркл – обеспеченность метода климатическая; Э – эффективность метода.

Средняя за четыре года испытаний оправдываемость прогнозов распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период заблаговременностью 30–45 суток составила 82 % при климатической обеспеченности 61 % и эффективности 21 %, что соответствует необходимым требованиям.

96

Особенность предлагаемого метода заключается в том, что появляется возможность долгосрочного прогноза распределения молодых и однолетних льдов в активной с точки зрения судоходства акватории, использование которого в практике повысит экономический эффект морских операций, начиная со стадии их планирования.

### **Заключение**

ЦМКП Росгидромета на заседании 21 ноября 2018 года рекомендовала:

– одобрить работу ФГБУ «ААНИИ» по разработке метода долгосрочного прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период с заблаговременностью 30-45 суток;

– ФГБУ «ААНИИ» внедрить метод долгосрочного прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период с заблаговременностью 30-45 суток в оперативную практику ФГБУ «ААНИИ» в качестве основного.

В заключении хочется почтить память старейшего сотрудника ФГБУ «ААНИИ» Анатолия Александровича Лебедева, стоявшего у истоков создания метода долгосрочного прогноза распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период. Немало его труда было отдано сбору исходного материала, а идеи, заложенные им при создании алгоритма прогноза, были развиты последователями и нашли свое выражение в законченном методе прогноза. Рекомендация ЦМКП к использованию метода в качестве основного в ФГБУ «ААНИИ» есть дань уважения и к вкладу Анатолия Александровича в его создание.

### Список литературы

1. Международная символика для морских ледовых карт и номенклатура морских льдов. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 56 с.
2. РД 52.27.759-2011. Наставление по службе прогнозов, раздел 3, часть III. Служба морских гидрологических прогнозов. – М.: ТРИАДА ЛТД, 2011. – С. 79-89.
3. *Спичкин В.А.* Определение критерия крупной аномалии // Труды ААНИИ. – 1987. – Том 402. – С. 15-20.

*В.В. Иванов, Г.А. Алексеенков,  
А.Я. Коржиков*

**МЕТОД УЧЕТА ДЛИТЕЛЬНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ ИЗМЕНЕНИЙ  
АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕЛЯХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
ДОЛГОСРОЧНОГО МАКРОЦИРКУЛЯЦИОННОГО МЕТОДА  
ПРОГНОЗА В КАРСКОМ МОРЕ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ  
1–3 МЕСЯЦА**

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
г. Санкт-Петербург*

**Введение**

98

В течение нескольких десятилетий (более 70 лет) в отделе долгосрочных метеорологических прогнозов ФГБУ «ААНИИ» изучаются закономерности развития атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба в целях разработки различных способов долгосрочных и сверхдолгосрочных метеорологических прогнозов для полярных областей планеты макроциркуляционным методом. Основы метода были сформулированы в 30-х годах прошлого столетия в трудах основоположника метода Г.Я. Вангенгейма [1].

В практике гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в полярном районе Арктики особое значение приобретает знание гидрометеорологических условий в шельфовой зоне арктических морей и использование их в разработке долгосрочных метеорологических прогнозов различной заблаговременности.

В период 2011–2013 гг. в рамках ЦНТП «Развитие моделей и технологий расчетов и прогнозов характеристик ледяного покрова на акватории арктических морей и Арктического бассейна» проводились комплексные исследования атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба в связи с направленностью их длительных преобразований. *Научной задачей* данного исследования являлось установление закономерностей формирования межгодовой и внутригодовой изменчивости атмосферных процессов в периоды устойчивых потеплений и похолоданий, получение прогностических зависимостей для

различных вариантов (разновидностей) перестроек атмосферных процессов, поиск путей их использования для долгосрочного прогнозирования. *Практической задачей* проводимых научных исследований являлась разработка способов учета длительных тенденций изменения атмосферных процессов при разработке и уточнении долгосрочных метеорологических прогнозов, а также создание схемы поэтапного ввода в прогноз закономерностей формирования циркуляционного и термобарического фона, на котором наблюдается развитие процесса в полярном районе, с целью внедрения в оперативную практику методики долгосрочного метеорологического прогноза на период от одного до трех месяцев для акватории Карского моря.

В итоге проведения комплексных исследований были получены результаты, имеющие научное и практическое значение для гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в районе Карского моря.

В соответствии с Планом испытания и внедрения новых и усовершенствованных методов (технологий) гидрометеорологических прогнозов Росгидромета в ААНИИ были проведены оперативные испытания разработанного метода. В качестве независимого ряда при испытании использовались данные с 2014 по 2017 г. Разработанный метод прогноза по итогам испытаний дал положительные результаты и рекомендован ЦМКП Росгидромета к внедрению.

В ААНИИ исследования по дальнейшему совершенствованию макроциркуляционного метода долгосрочных прогнозов для полярного района Арктики и его локальных районов продолжаются в направлении распространения предложенного методического подхода для других морей (Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское) трассы Северного морского пути.

### **Используемые данные**

Информационной основой проведенных исследований и испытания метода долгосрочного прогноза метеорологических условий в Карском море являлись многолетние данные гидрометеорологической информации электронного архива, формируемого в лаборатории долгосрочных метеорологических прогнозов и отделе метеорологической информации ААНИИ.

Длина рядов метеорологических данных Северного полушария на данный момент составляет более 120 лет. Данные на полярных станциях морей российской Арктики имеют ряды около 80 лет. В исследовании использованы данные метеорологических наблюдений на наиболее репрезентативных полярных станциях, имеющих длительный и непрерывный ряд наблюдений.

При разработке методики прогноза использовалась следующая стандартная и специализированная информация приземных и высотных метеорологических данных:

– данные восьмисрочных наблюдений за приземным давлением и температурой воздуха у поверхности Земли на станциях умеренной зоны Северного полушария и полярного района Арктики, по которым рассчитывались осредненные значения данных за различные периоды осреднения;

– данные значений геопотенциала высотной изобарической поверхности 500 гПа;

– данные многолетнего каталога дат устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через ноль градусов на полярных станциях морей российской Арктики;

– данные подстилающей поверхности: различные показатели ледовых условий Северного Ледовитого океана и его морей и температуры воды в районах Северной Атлантики;

– данные многолетних (с 1891 г.) каталогов форм и типов крупномасштабных атмосферных процессов и их разновидностей по классификациям Г.Я. Вангенгейма и А.А. Гирса.

Приземные и высотные метеорологические данные представлены в картированной, табличной, графической формах и на электронных носителях.

Осреднение данных проводилось как по календарным периодам (декада, месяц, сезон, год), так и по однородным периодам с однонаправленным ходом развития атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба, от элементарных синоптических процессов (ЭСП) до эпох циркуляции и их стадий.

Анализ и оценка структурных особенностей в преобразованиях атмосферных процессов в масштабе больших и малых преобразований проводились средствами комплексного аэросиноптического анализа термобарических полей в толще тропосферы с учетом естественных стадий развития и перестроек крупномасштабных процессов в соответствии с разновидностями на Северном полушарии форм циркуляции (W – западная, E – восточная и C – меридиональная) в первом атлантико-евразийском секторе и типами циркуляции (З – зональный, M<sub>1</sub> и M<sub>2</sub> – меридиональные) во втором тихоокеано-американском секторе полушария [1, 2].

Учет крупномасштабных (фоновых) атмосферных процессов и их перестроек из одной естественной стадии развития в другую способствовал более правильной оценке природы смены режима циркуляции и метеорологических условий в локальном районе Арктики – Карском море.

## Основы метода

**В макроциркуляционном методе долгосрочных метеорологических прогнозов для полярного района Арктики, основы которого были разработаны в 30-х годах прошлого века**

Г.Я. Вангенгеймом, лежат физические закономерности развития общей циркуляции атмосферы, а частные связи статистического характера или зависимости установлены по данным ограниченного района.

При анализе и диагнозе крупномасштабных процессов учитываются основные элементы ОЦА: местоположение центра планетарного циркумполярного вихря на изобарической поверхности 500 гПа, географическая ориентация планетарной фронтальной зоны, состояние длинных термобарических волн, развитие стационарных циклонов и антициклонов (центров действия атмосферы), траектории фронтальных циклонов и антициклонов. Данные элементы ОЦА крайне важны при анализе развития и перестройки атмосферных процессов в течение года и оценке метеорологических процессов в отдельных районах Арктики.

Макроциркуляционный метод долгосрочных и сверхдолгосрочных метеорологических прогнозов с начального этапа развивался и совершенствовался на основе максимально возможного, комплексного определения аналогии исходного процесса к процессам предшествующего периода. Его авторы Г.Я. Вангенгейм и А.А. Гирс ввели в диагностику атмосферных процессов понятие гомологичности, т. е. аналогичности диагностируемого процесса с ранее существовавшими не на основе внешнего сходства, а на основе ряда схожих внутренних генетических признаков [2]. Прежде всего это обусловлено требованием изучения процессов в непрерывной цепи их развития, в необходимости учета того термобарического фона, который возникает в процессе более долгопериодных колебаний элементов ОЦА, чем диагностируемый процесс.

Необходимо отметить, что в методе долгосрочных метеорологических прогнозов для полярных районов из отобранных из исторических рядов гомологов используются средние характеристики группы гомологов. При разработке прогноза, осредняя данные группы гомологов, получаем вариант прогноза, в котором учтены различные отклонения, свойственные отдельным гомологам. То есть группа гомологов фиксирует возможные вариации отдельных лет-гомологов. Поэтому прогноз по групповым характеристикам чаще оказывается ближе к фактическим процессам прогнозируемого периода, чем одного гомолога, даже имеющего наибольшее сходство по предшествующей истории.

Поэтому дальнейшее совершенствование макроциркуляционного метода идет как по линии улучшения критериев самого подбора гомологов при помощи современных ЭВМ, так и по линии накопления материалов синоптического архива, что увеличивает возможность подбора наилучшего гомолога, т. е. возможность решать задачу прогноза по более точным начальным данным. Таким образом, одним из главных условий развития

синоптико-статистических методов прогнозов с увеличением рядов наблюдений является наличие и накопление эмпирического материала наблюдений.

Проводимые с 2011 г. исследования атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба с целью усовершенствования макроциркуляционного метода прогнозирования для отдельных локальных районов северной полярной области позволили усовершенствовать (разработать) технологию учета длительных тенденций при разработке долгосрочных метеорологических прогнозов и их уточнений для района Карского моря.

В результате выполненного исследования получены следующие основные результаты. Пополнен специализированный многолетний архив метеорологических данных и каталоги форм и типов крупномасштабных атмосферных процессов и их разновидностей по классификациям Г.Я. Вангенгейма, А.А. Гирса и Л.А. Дыдиной.

Проведено дальнейшее совершенствование разработанных ранее алгоритмов и комплексов программ обработки исходных метеорологических данных в целях расчета метеорологических полей и выделения естественных синоптических периодов (стадий) с односторонними тенденциями развития атмосферных процессов различного временного масштаба, от элементарных синоптических процессов (ЭСП) до эпохи циркуляции [2, 7, 8].

Проведен структурный анализ длительных тенденций в межгодовой изменчивости атмосферных процессов в масштабе циркуляционных эпох и их стадий. Выявлен характер их проявления в смене барико-циркуляционного и температурного режима полярного района Арктики и в Карском море.

Установлено, что каждая циркуляционная стадия процессов (эпохи и их стадии) характеризуется преобладанием той или иной формы циркуляции, что отражается в крупномасштабных перестройках барического и термического поля тропосферы полярного района Арктики.

Выявлены индивидуальные особенности воздухообмена и температурного режима в районе Карского моря в межгодовой изменчивости и в различные сезоны года.

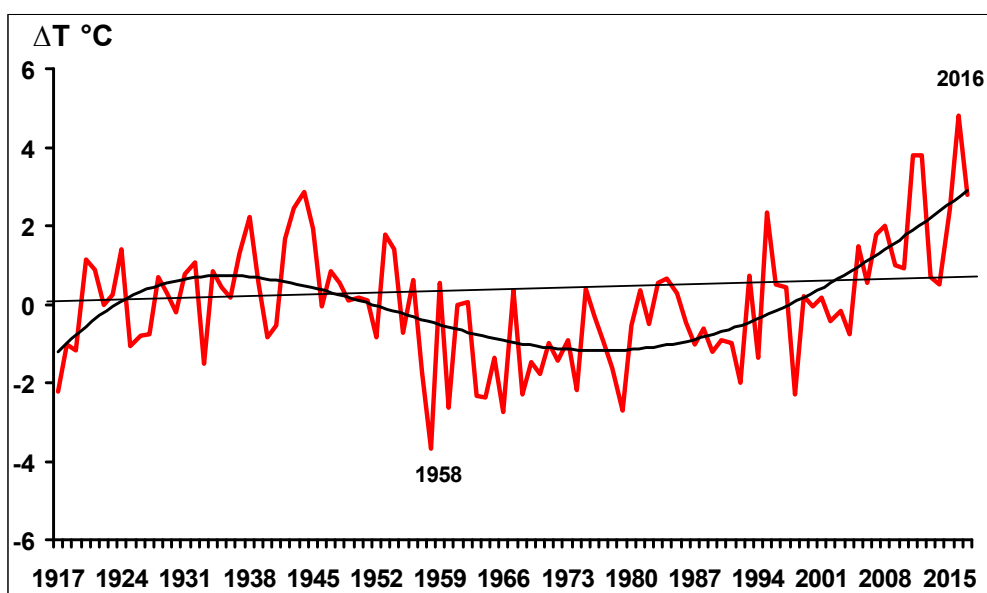
С учетом полученных результатов исследования уточнены фоновые и сезонные группы однородного развития атмосферных процессов в цепи их преобразований с целью дальнейшего использования при прогнозе.

Особое внимание в исследовании было отведено выявлению в развитии атмосферной циркуляции длительных тенденций в изменении характеристик атмосферы, приводящих к формированию устойчивых периодов потеплений и похолоданий и экстремальных за весь ряд наблюдений аномалий температуры различного знака в Карском море.

Установлено, что перестройки в длительных тенденциях направленности крупномасштабных атмосферных процессов во многом определяют смену адвективно-динамических условий в периоды потеплений и похолоданий в Карском море.

За столетний ряд наблюдений выделяется два периода устойчивых потеплений в Карском море: 30-х годов прошлого столетия и текущее потепление. В период с 1950 по 2000 г. отмечалось устойчивое похолодание. Текущее потепление, начавшееся циркуляционной стадией 1988–1995 гг., с 2004 г. по настоящее время охватило все месяцы и сезоны года и по фоновым показателям превзошло потепление 30-х годов прошлого столетия. На данной стадии развития крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Арктики потепление в районе Карского моря близко к максимальному.

За весь ряд наблюдений в Карском море экстремально низкое среднее годовое значение температуры было отмечено в 1958 г., а экстремально высокое – в 2016 году (рис. 1).



**Рис. 1.** Средние годовые значения аномалий температуры воздуха, °C, в Карском море за период с 1917 по 2017 г.

В результате анализа длительных тенденций преобразования атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба и проявлений их в формировании экстремальных аномалий температуры в районе Карского моря, были определены особенности разновидностей в развитии процессов в год формирования экстремальных значений температуры и в периоды, предшествующие их формированию.

Для каждой разновидности рассчитаны карты полей приземного атмосферного давления, температуры воздуха, высотной циркуляции на H500, траекторий основных барических образований (циклонов и антициклонов), направлений воздушных потоков и получен комплекс ряда метеорологических показателей.

Каждая разновидность имеет принципиально значимые отличия в направленности крупномасштабных атмосферных процессов при различных формах атмосферной циркуля-

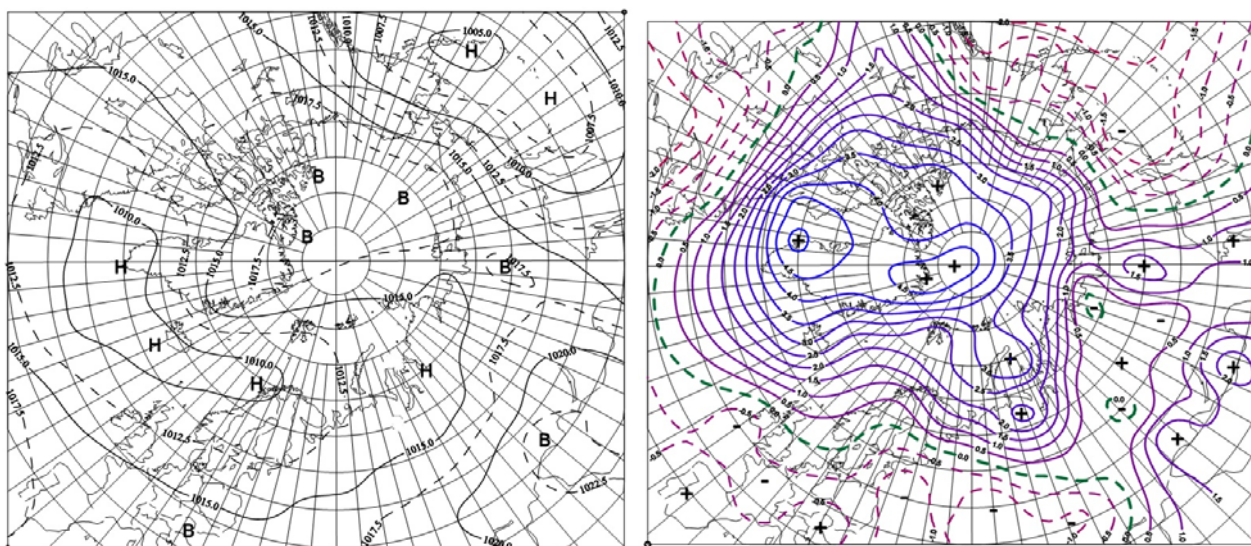
ции по классификации Г.Я. Вангенгейма (W-западная, E-восточная и С-меридиональная). Каждая разновидность характеризуется определенной формой макропроцесса с преобладающими траекториями циклонов и вариантами адвекции воздушных масс в районе Карского моря.

Циркуляционный механизм возникновения экстремальных значений аномалий температуры в Карском море, показывающий формирование экстремально низких (1958 г.) и экстремально высоких температур (2016 г.), представлен на примере двух стадий.

Так, при формировании экстремально низких температур в 1958 г. характерными являются низкоширотные разновидности форм циркуляции по сравнению с нормой по траекториям циклонов.

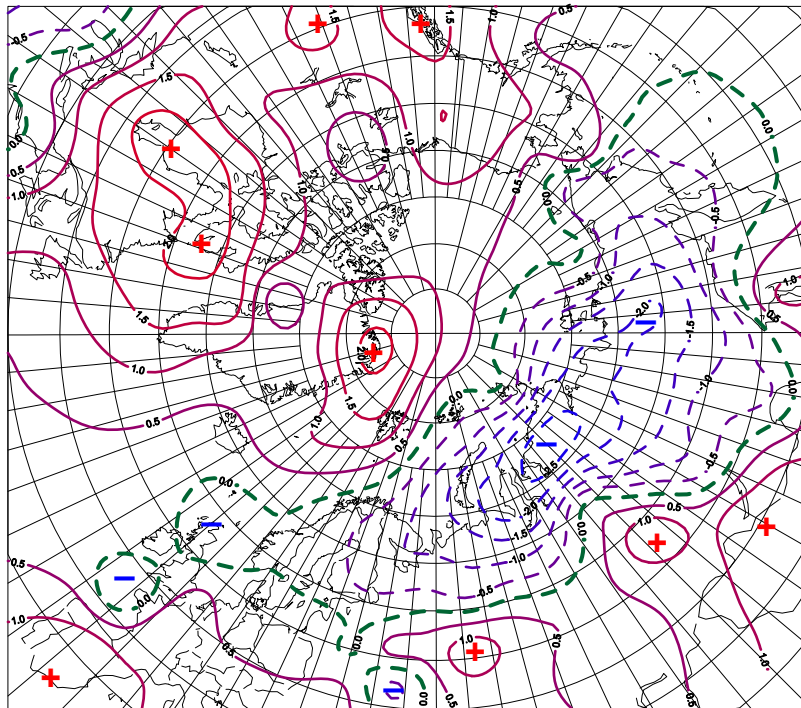
Центр циркумполярного вихря на изобарической поверхности 500 гПа по сравнению с нормой смещен из приполюсного района на континентальную часть Азии. Приполюсный район находится под влиянием высотного гребня, под которым в приземном поле формируется обширный стационарный антициклон.

Под влиянием высотного блокирующего гребня над полярным районом высотная фронтальная зона в атлантико-евразийском секторе располагается южнее своего многолетнего положения. Вследствие этого циклоны Северной Атлантики смещаются преимущественно низкоширотными траекториями южнее акваторий Баренцева и Карского морей по континентальной части Евразии. Под их влиянием азиатский антициклон ослаблен, и центр его смещен к югу. Арктический антициклон усилен, и его гребень оказывает частое влияние на район Карского моря. В районе преобладает антициклональный знак поля и положительные аномалии давления (рис. 2).



**Рис. 2.** Поля среднего приземного давления (слева) и аномалии давления (справа), гПа, за период январь – декабрь 1958 г.

При такой направленности крупномасштабных процессов в районе Карского моря наибольшую повторяемость имеют воздушные потоки юго-восточных, восточных и северо-восточных направлений, которые формируют устойчивую адвекцию холодных воздушных масс из Арктики и с континента (зимой) и частое формирование в течение 1958 г. крупных отрицательных аномалий температуры (рис. 1 и 3).



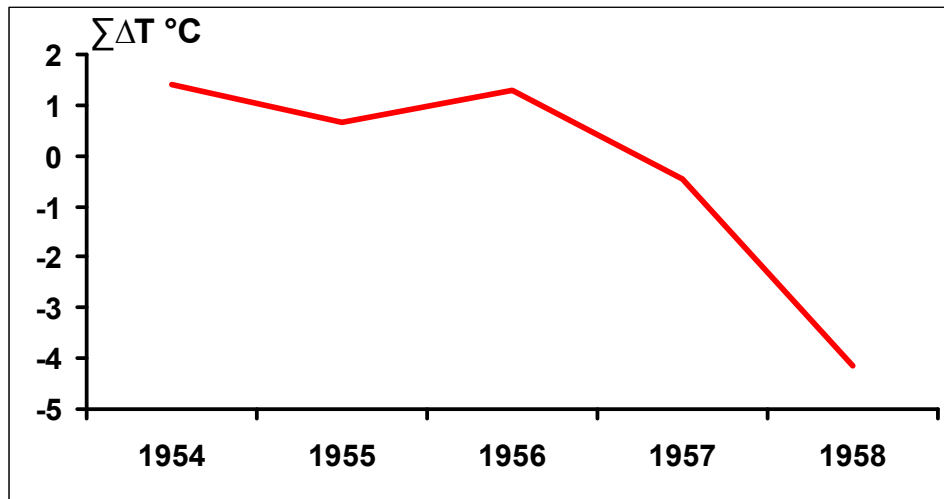
**Рис. 3. Поле средней аномалии приземной температуры воздуха, °С, за период январь – декабрь 1958 г.**

В предшествующий период перед 1958 г., квазиоднородная стадия с преобладанием процессов с низкоширотными траекториями циклонов в системе исландского минимума началась с 1955 г. В этот период отмечалось преобладание отрицательных аномалий температуры в Карском море и накопленная (интегральная) кривая аномалий температуры имела тенденцию на понижение (рис. 4).

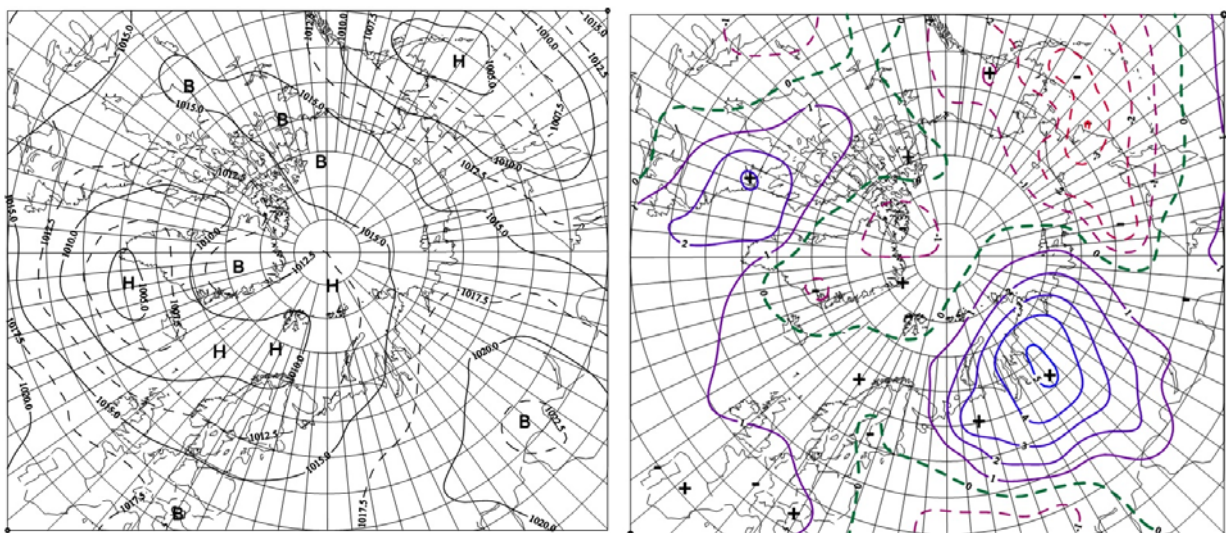
Принципиально другая направленность крупномасштабных атмосферных процессов наблюдалась при формировании экстремально высоких температур в 2016 г. [3]. Для них характерны разновидности процессов с повышенной повторяемостью западной и восточной форм циркуляции с высокоширотными траекториями циклонов в полярном районе.

Центр циркумполярного вихря на изобарической поверхности 500 гПа по сравнению с нормой смещен из приполюсного района в канадско-гренландский сектор Арктики, и под влиянием блокирующих гребней континентального антициклона с центром над Западной Сибирью высотная фронтальная зона в атлантико-евразийском секторе располагается север-

нее своего многолетнего положения. Вследствие этого в приземном поле циклоны Северной Атлантики смещаются преимущественно высокоширотными траекториями севернее экваторий Баренцева и Карского морей в полярный район Арктики. Под их влиянием арктический антициклон ослаблен, и в центральном полярном районе преобладают отрицательные аномалии давления (рис. 5).

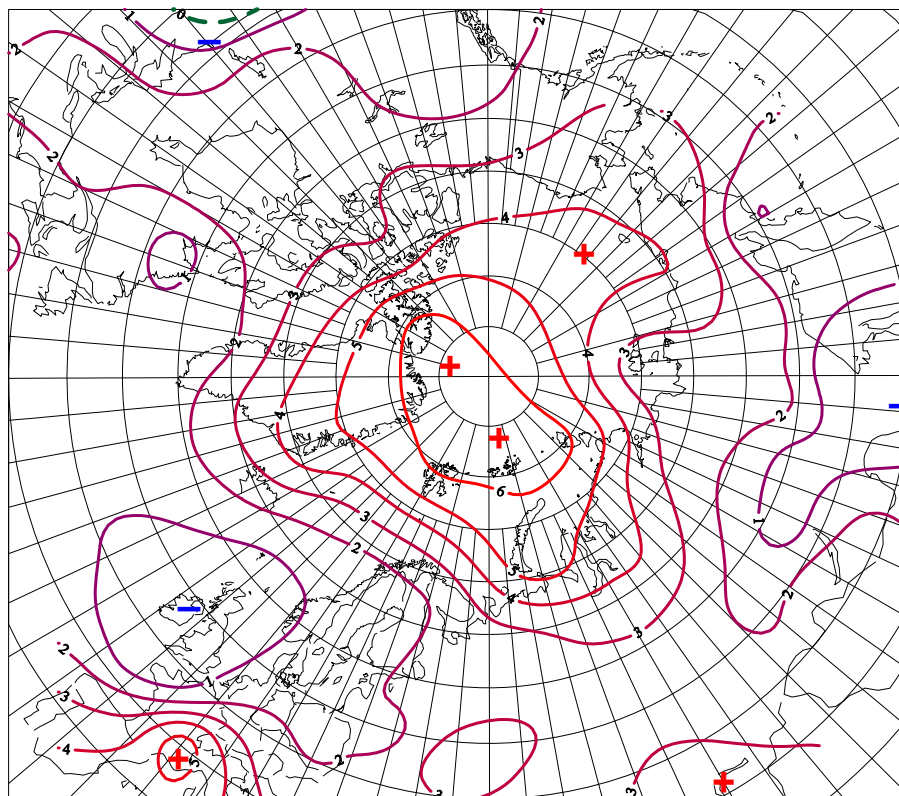


**Рис. 4. Интегральная кривая средних годовых значений аномалий температуры в стадии формирования экстремально низких температур в 1958 г. в Карском море.**



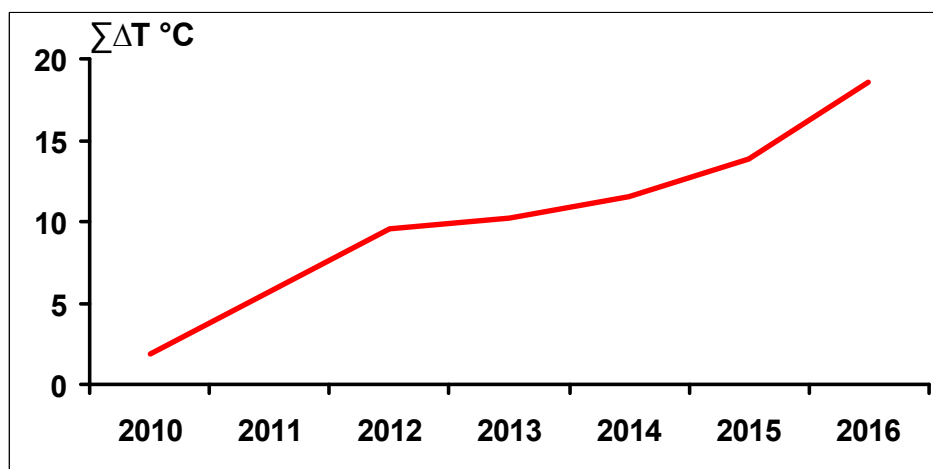
**Рис. 5. Поля среднего приземного давления (слева) и аномалии давления (справа), гПа, за период январь – декабрь 2016 г.**

При такой направленности крупномасштабных процессов в районе Карского моря наибольшую повторяемость имеют воздушные потоки западных, юго-западных и южных направлений, в которых отмечается устойчивая адвекция теплых воздушных масс и формирование в течение 2016 г. крупных положительных аномалий температуры (рис. 1 и 6).



**Рис. 6. Поле средней аномалии приземной температуры воздуха, °С, за период январь – декабрь 2016 г.**

В предшествующий период перед экстремально теплым 2016 г. квазигомогенная стадия с преобладанием процессов с высокоширотными траекториями циклонов в системе исландского минимума началась с 2011 г. В этот период отмечалось преобладание устойчивых положительных аномалий температуры в Карском море и интегральная кривая аномалий температуры имела тенденцию на повышение (рис. 7).



**Рис. 7. Интегральная кривая средних годовых значений аномалий температуры в стадии формирования экстремально высоких температур в 2016 г. в Карском море.**

Таким образом, можно предположить, что возникновение экстремальной аномалии температуры воздуха не происходит вдруг, а подготавливается в течение определенного времени при однонаправленном развитии атмосферных процессов определенной формы циркуляции. Длительные тенденции в направленности крупномасштабных атмосферных процессов способствуют формированию устойчивого во времени температурного фона определенного знака, на котором и возможно возникновение экстремальных температур.

Полученные в рамках выполнения темы НИОКР результаты исследований использовались в научной и оперативной деятельности для анализа, диагноза и оценки исходных текущих атмосферных процессов, определения границ естественных стадий различного временного масштаба, для выяснения природы образования различных аномалий погоды как глобального, так и регионального масштаба.

Результаты исследований были включены в основную технологическую схему разработки фонового долгосрочного прогноза и его сезонных уточнений для полярного района Арктики с детализацией прогнозов для района Карского моря с заблаговременностью 1–3 месяца.

Технология поэтапного составления прогнозов с различной заблаговременностью имеет системный подход и включает сбор и анализ исходных данных; оценку и диагноз текущих и предшествующих атмосферных процессов; прогноз тенденции развития атмосферных процессов; прогноз синоптического положения; расчет ряда метеорологических параметров для Карского моря.

Многолетний архив специализированных данных в виде средних карт и графиков, фиксирующих длительные тенденции изменения атмосферных процессов, фоновые характеристики термобарических полей для различных стадий развития атмосферных процессов, используется для более качественного подбора из исторических рядов лет-гомологов для выбора действующих фоновой и сезонной групп, для выбора наиболее вероятного варианта объединения гомологов в прогнозируемых месяцах при разработке метеорологических прогнозов с различной заблаговременностью макроциркуляционным методом, апробированным в ААНИИ в многолетней практике научно-оперативного обеспечения на трассе Северного морского пути.

### **Результаты опытных и производственных испытаний метода**

Испытания метода проводились в лаборатории долгосрочных метеорологических прогнозов отдела ледового режима и прогнозов ААНИИ в оперативном режиме в период с сентября 2013 по август 2017 г. Опытные прогнозы составлялись и оценивались по станциям Карского моря.

Прогнозы использовались при составлении ледовых и гидрологических прогнозов в отделах ледового режима и прогнозов, гидрологии устьев рек и водных ресурсов и Центре ледовой гидрометеорологической информации ААНИИ.

Всего за период испытаний для Карского моря было составлено 87 прогнозов с заблаговременностью от 1 до 3 месяцев.

Содержание и форма прогнозов определены требованиями практики, сформированными в процессе гидрометеорологического обеспечения мореплавания по Северному морскому пути и работ на шельфе морей российской Арктики. Прогнозы с заблаговременностью до 3 месяцев включали карты распределения среднего месячного давления, аномалий давления и температуры воздуха, а также карты направления основных воздушных потоков и их отклонений от нормы на каждый месяц.

В рамках уточнения прогнозов, каждый месяц проводился анализ текущих атмосферных процессов и составлялись прогнозы значений аномалий температуры с заблаговременностью до 1 месяца.

Оценка оправдываемости прогнозов производилась путем непосредственного сопоставления предсказанных и фактических значений элементов.

Основные требования составления долгосрочных прогнозов различной заблаговременности и оценка их оправдываемости соответствуют Руководствам и Наставлениям, опубликованным и утвержденным руководством Росгидромета [4–7].

Прогноз аномалии по знаку получал положительную оценку, если аномалии прогностических и фактических значений температуры совпадали.

Прогноз по величине получал положительную оценку, если ошибка была равна или менее допустимой погрешности. За допустимую погрешность прогноза принималась величина  $0,67\sigma_n$ , где  $\sigma_n$  – среднеквадратическое (природное) отклонение температуры воздуха, рассчитанное для всего ряда наблюдений.

Средние оценки оправдываемости прогнозов *давления и направления воздушных потоков* с различной заблаговременностью для Карского моря приводятся в табл. 1

Для Арктики прогнозы температуры различной заблаговременности имеют наибольшее значение, так как в значительной мере определяют интенсивность нарастания или разрушения ледяного покрова, влияющего на эксплуатацию технических средств на акватории моря.

Средние оценки оправдываемости прогнозов температуры с различной заблаговременностью для Карского моря приводятся в табл. 2 и 3.

**Оправдываемость долгосрочных метеорологических прогнозов давления  
и направления воздушных потоков с различной заблаговременностью, %**

Заблаговременность прогноза	Оправдываемость, %		
	Поле давления	Знак аномалии давления	Направление воздушных потоков
До трех месяцев	78	72	74
До одного месяца	84	79	81

**Средние оценки качества прогнозов температуры воздуха  
для районов Карского моря, %**

Оценка качества прогнозов	Заблаговременность	
	до трех месяцев	до одного месяца
Оправдываемость по знаку	78	83
Оправдываемость по величине	68	72
Природная обеспеченность	56	56
Эффективность	12	16

**Средние оценки качества прогнозов температуры воздуха  
по внутригодовым периодам, %**

Оценка качества прогнозов	Внутригодовые периоды		
	сентябрь-февраль	март-май	июнь-август
Оправдываемость по знаку	76	82	88
Оправдываемость по величине	67	70	76
Природная обеспеченность	52	54	62
Эффективность	15	16	14

Данные таблиц показывают, что прогнозы давления и температуры с различной заблаговременностью успешны. Оправдываемость прогнозов по знаку аномалии для давления составила от 71 до 83 %, а для температуры – от 72 до 89 %. Оправдываемость прогнозов по величине для температуры при допустимой погрешности  $0,67\sigma$  составила от 67 до 77 %. Эффективность прогнозов по величине аномалий температуры по отношению к климатическим прогнозам с допустимой погрешностью по отдельным месяцам колебалась в пределах от 9 до 20 %.

К погрешностям прогнозов необходимо отнести те случаи, когда происходила резкая перестройка атмосферных процессов. При этом в ряде случаев ожидаемые границы смены процессов от одной формы циркуляции к другой по сравнению с фактическими данными были несколько смещены во времени, что во многом сказалось на конечной оценке оправдываемости прогнозов.

Следует также отметить, что оправдываемость прогнозов зависит от качества исходной информации. В связи с резким ухудшением в 90-х годах прошлого столетия надежности данных метеорологической сети полярных станций на трассе Северного морского пути, закрытием ряда наиболее репрезентативных станций (особенно на островах), станций аэрологического зондирования, понизилась надежность анализа и диагноза начальных условий циркуляции атмосферы и погоды в локальных районах Арктики. Это приводит к уменьшению оправдываемости прогнозов, особенно при увеличении их заблаговременности. В складывающейся ситуации особенно ценно применение макроциркуляционного метода долгосрочного прогнозирования погоды в Арктике. Метод позволяет рассматривать процессы в локальном районе в связи с крупномасштабными изменениями циркуляции на территории северной полярной области. В частности, определенный вклад в оправдываемость прогнозов фона давления и температуры вносит использование результатов, которые были получены в данном исследовании.

Следует отметить, что в период испытания в 2016 г. были отмечены периоды возникновения крупных и экстремальных за весь ряд наблюдений положительных значений аномалии температуры, которые на данном этапе развития долгосрочных методов прогнозов различной заблаговременности не позволяют надежно их предсказывать.

Более надежные прогнозы знака аномалий во многом обусловлены учетом устойчивой длительной тенденции повышения температурного фона полярной области Арктики и ее локальных районов. В последние десятилетия отмечалось преобладание во всех сезонах высоких значений положительных аномалий температуры воздуха в Арктике.

Результаты прогнозов с учетом тенденций изменения в направленности процессов и формировании фона на соответствующей стадии развития атмосферных процессов показали сравнительно высокую оправдываемость для районов Карского моря. Методика характеризуется эффективностью по сравнению с климатическими оценками.

### **Выводы о целесообразности внедрения метода**

На основе вышеприведенных результатов испытаний Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета на заседании от 27 октября 2017 г. приняла следующие решения:

– одобрить работу ФГБУ «ААНИИ» по созданию метода учета длительных тенденций изменений атмосферных процессов в целях совершенствования долгосрочного прогноза для Карского моря заблаговременностью 1–3 месяца;

– внедрить метод в оперативную практику ФГБУ «ААНИИ» в качестве вспомогательного к основному макроциркуляционному методу долгосрочного метеорологического прогноза для полярной области Арктики;

– авторам продолжить работу по совершенствованию метода и использовать для расчетов результаты численных моделей атмосферы.

### Список литературы

1. *Вангенгейм Г.Я.* Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики // Труды ААНИИ. – 1952. – Т. 34. – 314 с.

2. *Гирс А.А.* Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 485 с.

3. *Иванов В.В., Алексеенков Г.А.* Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Северного полушария за период январь-декабрь 2016 // Обзор гидрометеорологических процессов в Северной полярной области, 2016. – СПб.: ААНИИ, 2017. – С. 4–21.

4. *Наставление* по службе прогнозов. Раздел 3, часть III. – М.: Гидрометеиздат, 1982. – 143 с.

5. *Руководство* по месячным прогнозам погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 365 с.

6. *Руководство* по формулировке и оценке оправдываемости долгосрочных прогнозов погоды малой и большой заблаговременности для Арктики. – Л.: Морской транспорт, 1981. – 56 с.

7. *Ivanov V.V., Vinogradov N.D.* Meteorological forecasts // Insrop working paper 10-1995. 1.6.1: Operational Tools. – P. 7–23 (принципы макроциркуляционного метода, исходная информация, основные этапы разработки ДМП различной заблаговременности, расчет оправдываемости прогнозов, форма представления).

8. *Ivanov V.V., Vinogradov N.D.* Meteorological forecasts // Insrop working paper 36-1996. 1.6.1: Operational Tools. – P. 7–20 (естественные стадии развития процессов – ЭСП, ОЦП, ОВП, стадии эпох, эпохи циркуляции; длительные тенденции, фоновые характеристики и их учет при разработке ДМП).

УДК 551.509.5

**Результаты испытания прогноза максимальной скорости ветра на 24–36 ч по г. Кургану по данным модели COSMO-Ru14** / Колкер А.Б., Резник Л.Е. // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2019. – Информационный сборник № 46. – С. 3–18.

Приведены результаты оперативных испытаний прогноза максимальной скорости ветра, рассчитываемой по данным модели COSMO-Ru14. Метод реализован в ФГБУ «СибНИГМИ», результаты представлены в виде метеограмм на интернет-сайте. Испытания проведены в Курганском ЦГМС – филиале ФГБУ «Уральское УГМС» в течение 2016–2018 гг. По итогам испытаний на заседании Технического совета Уральского УГМС от 15 февраля 2019 г. принято решение: рекомендовать внедрение в оперативную практику метода прогноза максимального ветра COSMO-Ru14 заблаговременностью 24–36 ч для Кургана в качестве основного расчетного метода прогноза ветра неопасных градаций (< 25 м/с).

*Ключевые слова:* прогноз максимального ветра, оправдываемость, абсолютная и систематическая ошибка прогноза, результаты испытания.

Табл. 8. Ил. 3. Библ. 3.

УДК551.509:551.524.73

**Результаты испытания метода прогноза аномально холодной погоды на 48–144 часа для территорий Свердловской, Челябинской областей и Пермского края на основе прогноза РЭП и карт аномалии среднесуточной температуры воздуха на 1–5 суток в сравнении с синоптическим методом** / Баранова С.С., Шепоренко Г.А., Абзалилова Д.И., Веприкова Л.В., Козлова И.А., Ячменева Н.В. // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2019. – Информационный сборник № 46. – С. 19–29.

Представлены результаты испытаний метода прогноза опасного природного явления – аномально холодной погоды на 48–144 ч на территории России, ранее рекомендованного к внедрению в практику ЦМКП Росгидромета, для территорий Свердловской, Челябинской областей и Пермского края на основе прогноза РЭП (расчет элементов погоды) и карт аномалии среднесуточной температуры воздуха на 1–5 суток. Проведено сравнение методических прогнозов с прогнозами синоптиков.

В целом получены хорошие показатели оправдываемости и успешности методических прогнозов (за исключением предупрежденности по факту наличия аномально-холодной погоды). Принимая во внимание, что данный метод является единственным объективным методом среднесрочного прогноза аномально-холодной погоды, Технический совет ФГБУ «Уральское УГМС» от 26.06.2018 г. рекомендовал внедрить метод в прогностическую работу подразделений ФГБУ «Уральское УГМС» в качестве основного метода. ЦМКП Росгидромета на заседании 26.09.2018 г. утвердила решение Технического совета.

*Ключевые слова:* опасное природное явление, аномально холодная погода, прогноз РЭП, карты аномалий среднесуточной температуры.

Табл. 4. Рис. 5. Библ. 4.

УДК 551.509.1/5

**Результаты испытания автоматизированной технологии прогноза температуры воздуха на базе комплексирования выходной продукции различных моделей в холодный период в оперативно-прогностических подразделениях ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС»** / Здерева М.Я., Воловлиная М.С. // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2019. – Информационный сборник № 46. – С. 30–42.

Представлены оценки приземной температуры воздуха для территории ответственности Западно-Сибирского УГМС по разработанной в СибНИГМИ оперативной технологии COMPLEX в холодном периоде 2018 г. В 2015 г. метод был внедрен для теплого периода года. Технология включает методы статистической коррекции модельных прогнозов температуры по четырем моделям: COSMO\_Sib13, SLAV, UKMO, GFS и комплексацию результатов с весовыми коэффициентами, обратными их среднеквадратической ошибке. Метод является адаптивным, что позволяет подстраиваться под изменения в модельных блоках. Результаты по COMPLEX сравнены с аналогичными прогнозами по внедренной ранее технологии WSIBMZ (разработка СибНИГМИ) и по технологии РЭП (разработка Гидрометцентра России). Анализ результатов показал, что качество прогнозов по новой технологии COMPLEX для холодного периода выше, чем по WSIBMZ, и приближается, но пока ещё уступает РЭП.

*Ключевые слова:* приземная температура, холодный период, технология комплексирования, модельный прогноз, статистическая коррекция.

Табл. 15. Библ. 5.

УДК551.509.5

**Автоматизированная Web-технология выдачи ранжированных рядов экстремально теплых (холодных) и влажных (сухих) лет по станциям Западно-Сибирского УГМС** / Колкер А.Б., Гочаков А.В., Воронина Л.А., Брусенко Е.А., Белая Н.И. // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2019. – Информационный сборник № 46. – С. 43–55.

Приводится описание и возможности автоматизированной Web-технологии осуществлять выборку средней температуры воздуха, количества осадков из телеграмм, поступающих в коде КН-19 ДЕКАДА и КЛИМАТ со станций ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС», сравнивать значения с автоматизированной многолетней базой ранжированных рядов экстремально теплых (холодных) и сухих (влажных) лет по каждой метеостанции и формировать справочную систему выдачи пяти первых мест в ранжированных рядах экстремально теплых (холодных) и сухих (влажных) лет. Приведены результаты апробации автоматизированной Web-технологии в оперативной работе.

*Ключевые слова:* Web-технология, ранжированные ряды экстремально теплых (холодных) и влажных (сухих) лет, средняя температура, количество осадков.

Табл. 6. Ил. 5.

УДК 63:551.5

**Результаты испытания методов прогноза урожайности картофеля, многолетних и однолетних трав по Омской области** / Старостина Т.В., Кононенко С.М., Гусарова Т.Ю. // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2019. – Информационный сборник № 46. – С. 56–59.

Приведены результаты испытания методов прогноза урожайности картофеля, многолетних и однолетних трав, разработанных в рамках выполнения темы 1.1.7.1 Плана НИОКР Росгидромета на 2014–2016 годы. Технический совет ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» на заседании от 02 ноября 2018 г. и ЦМКП от 21 ноября 2018 г. рекомендовали к внедрению в оперативную практику Гидрометцентра ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» с 2019 года методы прогноза урожайности картофеля, многолетних и однолетних трав по территории Омской области в качестве основных.

*Ключевые слова:* прогноз, урожайность картофеля, многолетних и однолетних трав.

Табл. 1. Библ. 4.

УДК 556.5

**Результаты испытаний методики прогноза объема годового притока в водохранилища Мурманской области** / Стародворская Т.В., Сиеккинен Е.Д. // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2019. – Информационный сборник № 46. – С. 60–63.

Представлены результаты авторских и производственных испытаний методики, разработанной в ФГБУ «Мурманское УГМС» в 2017 году, в сравнении с методикой «Годовой сток р. Тулома и возможность его прогнозирования», внедренной в 1964 году. Испытания показали, что оправдываемость прогнозов средних значений среднегодового притока воды по разработанной методике выше аналогичных оценок оправдываемости по методике 1964 г.: 100 % с оценкой «хорошо» (50 % с оценкой «удовлетворительно» по методике 1964 г.), прогнозов годового притока воды по перекидным зависимостям – 83 % (50 % по методике 1964 г.).

*Ключевые слова:* годовой приток воды, водохранилище, прогнозирование, результаты испытаний.

Табл. 1.

УДК 556.06

**Результаты испытаний автоматизированной технологии прогноза ежедневных и максимальных уровней воды на Средней Оби и Нижнем Иртыше** / Бураков Д.А., Волковская Н.П. // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2019. – Информационный сборник № 46. – С. 64–70.

Для рек Иртыш и Обь разработана автоматизированная модель краткосрочного прогнозирования уровней воды, позволяющая на основе всех доступных гидрометеорологических наблюдений рассчитать величину уровней воды по пунктам Ханты-Мансийск, Нижневартовск, Белогорье. Модель состоит из отдельных блоков, в которых проводятся расчеты снегонакопления, снеготаяния, водоотдачи талой и дождевой воды, склонового притока и руслового добегания для высотных зон каждого района. Проверка на независимом материале в 2017 г. показала их достаточно высокую точность и эффективность. Модель применяется в автоматизированном режиме и используется для краткосрочного прогнозирования уровня воды и оперативного предупреждения об опасных наводнениях. ЦМКП решением от 31.10.2018 утвердила методику к внедрению в оперативную практику ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» в качестве основного метода.

*Ключевые слова:* река Иртыш, река Обь, модель автоматизированной технологии, половодье, ежедневный прогноз уровней воды, снеготаяние, водоотдача талой и дождевой воды, склоновый приток, русловое добегание.

Табл. 3. Ил. 2. Библ. 5.

116

УДК 556.06

**Методы долгосрочного прогноза максимальных уровней воды на реке Иртыш и результаты их испытания** / Бураков Д.А., Космакова В.Ф., Волковская Н.П. // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2019. – Информационный сборник № 46. – С. 64–70.

В статье излагаются новые методы долгосрочного прогноза максимальных уровней воды на реке Иртыш по пунктам Черлак и Омск. Методы учитывают многофакторность формирования максимальных уровней воды на реке по накопленным гидрометеорологическим данным при зарегулированном режиме стока. Приведены результаты авторских и оперативных испытаний: оправдываемость прогнозов 90–97 %, оценка качества методов прогнозов по формулам – 0,359–0,483.

ЦМКП решением от 21.11.2018 утвердила методику к внедрению в оперативную практику ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» в качестве основного метода.

*Ключевые слова:* максимальный уровень воды, река Иртыш, прогноз, весеннее половодье, гидрометеорологические факторы (предикторы), испытание методов.

Табл. 3. Библ. 10.

УДК 551.326.12.+551.326.03 (268.45)

**Метод долгосрочного прогноза распределения молодых и однолетних льдов в осенне-зимний период в юго-восточной части Баренцева моря с заблаговременностью 30–45 суток и технология его составления** / Тюряков А.Б., Мочнова Л.П. // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2019. – Информационный сборник № 46. – С. 79–97.

Метод долгосрочного прогноза молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период заблаговременностью 30–45 суток основан на естественных природных взаимосвязях и преемственности в развитии ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период. В методе применены разработанные авторами критерии типизации ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря по пяти типам (экстремально легкий, легкий, средний, тяжелый и экстремально тяжелый), каждый из которых характеризуется определенным распределением молодых и однолетних льдов.

Метод построен на использовании ряда метеорологических и ледовых показателей: площади льдов в юго-восточной части Баренцева моря за предшествующие месяцы, температуры воздуха на полярных станциях, направлений и интенсивности воздушных переносов в центральном районе юго-восточной части Баренцева моря, также за предшествующие прогностическому периоду месяцы. Каждый из показателей доступен и может быть надежно определен по данным ФГБУ «ААНИИ», полярных станций или по данным ИСЗ.

Оценка качества методики проведена по результатам испытаний на независимом материале в период с декабря 2013 г. по апрель 2017 г. Средняя за 4-летний период испытаний оправдываемость долгосрочных прогнозов распределения молодых и однолетних льдов в юго-восточной части Баренцева моря в осенне-зимний период составила 82 % при климатической обеспеченности 61 % и эффективности 21 %.

*Ключевые слова:* долгосрочный прогноз, юго-восточная часть Баренцева моря, распределение молодых и однолетних льдов, типы ледовых условий, критерии типизации, прогностические предикторы, оправдываемость прогнозов.

Табл. 10. Ил. 4. Библ. 2.

УДК 551.509.33+551.585

**Метод учета длительных тенденций изменений атмосферных процессов в целях совершенствования долгосрочного макроциркуляционного метода прогноза в Карском море с заблаговременностью 1–3 месяца / Иванов В.В., Алексеенков Г.А., Коржиков А.Я. // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2019. – Информационный сборник № 46. – С. 98–112.**

Результаты проведенных комплексных исследований явились основой для разработки метода учета длительных тенденций изменений атмосферных процессов в целях совершенствования долгосрочного макроциркуляционного метода прогноза в Карском море с заблаговременностью 1–3 месяца. Результаты испытания прогнозов по данному методу показали сравнительно надежную оправдываемость. Метод характеризуется эффективностью по сравнению с климатическими оценками. Решением ЦМКП от 27 октября 2017 г. метод рекомендован к внедрению в оперативную практику ФГБУ «ААНИИ» в качестве вспомогательного.

*Ключевые слова:* длительные тенденции, атмосферные процессы, макроциркуляционный метод, экстремальные температуры воздуха, Карское море.

Табл. 3. Ил. 7. Библ. 8.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Колкер А.Б., Резник Л.Е.</i> Результаты испытания прогноза максимальной скорости ветра на 24–36 ч по г. Кургану по данным модели COSMO-Ru14 .....	3
<i>Баранова С.С., Шепоренко Г.А., Абзалилова Д.И., Веприкова Л.В., Козлова И.А., Ячменева Н.В.</i> Результаты испытания метода прогноза аномально холодной погоды на 48–144 часа для территорий Свердловской, Челябинской областей и Пермского края на основе прогноза РЭП и карт аномалии среднесуточной температуры воздуха на 1–5 суток в сравнении с синоптическим методом .....	19
<i>Здерева М.Я., Воловлива М.С.</i> Результаты испытания автоматизированной технологии прогноза температуры воздуха на базе комплексирования выходной продукции различных моделей в холодный период в оперативно-прогностических подразделениях ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» .....	30
<i>Колкер А.Б., Гочаков А.В., Воронина Л.А., Брусенко Е.А., Белая Н.И.</i> Автоматизированная Web-технология выдачи ранжированных рядов экстремально теплых (холодных) и влажных (сухих) лет по станциям Западно-Сибирского УГМС .....	43
<i>Старостина Т.В., Кононенко С.М., Гусарова Т.Ю.</i> Результаты испытания методов прогноза урожайности картофеля, многолетних и однолетних трав по Омской области .....	56
<i>Стародворская Т.В., Сиеккинен Е.Д.</i> Результаты испытаний методики прогноза объема годового притока в водохранилища Мурманской области .....	60
<i>Бураков Д.А., Волковская Н.П.</i> Результаты испытаний автоматизированной технологии прогноза ежедневных и максимальных уровней воды на Средней Оби и Нижнем Иртыше .....	64
<i>Бураков Д.А., Космакова В.Ф., Волковская Н.П.</i> Методы долгосрочного прогноза максимальных уровней воды на реке Иртыш и результаты их испытания .....	71
<i>Тюряков А.Б., Мочнова Л.П.</i> Метод долгосрочного прогноза распределения молодых и однолетних льдов в осенне-зимний период в юго-восточной части Баренцева моря с заблаговременностью 30–45 суток и технология его составления .....	79
<i>Иванов В.В., Алексеенков Г.А., Коржиков А.Я.</i> Метод учета длительных тенденций изменений атмосферных процессов в целях совершенствования долгосрочного макроциркуляционного метода прогноза в Карском море с заблаговременностью 1–3 месяца .....	98